Photographie à la page couverture, par Carl Nemecek, Metropolitan Life, New York.

CONSTRUCTION DES MURS EXTÉRIEURS DES BÂTIMENTS DE GRANDE HAUTEUR

SYSTÈMES DE MUR À PLACAGE DE BRIQUE SUR UNE MAÇONNERIE EN BÉTON OU FOND À OSSATURE D'ACIER

Cette publication a été rédigée par R. G. Drysdale, ing., de l'université McMaster, et par G. Suter, ing., de Suter Keller Inc.

La SCHL offre un large éventail de renseignements relatifs à l'habitation. Pour obtenir des précisions, adressez-vous au bureau SCHL de votre localité.

This publication is also available in English under the title *Exterior Wall Construction in High-Rise Buildings: Brick Veneer on Concrete Masonry on Steel Stud Wall Systems* — LNH 5450.

nada

DONNÉES DE CATALOGUE AVANT PUBLICATION (CANADA)

Vedette principale au titre :

Construction des murs extérieurs des bâtiments de grande hauteur :
systèmes de mur à placage de brique sur une maçonnerie en béton ou fond à ossature d'acier

Publ. aussi en anglais sous le titre : Exterior wall construction in high-rise buildings.
Comprend des références bibliographiques.
ISBN 0-660-93102-8
N° de cat. MAS NH15-20/1991F

1. Murs extérieurs — Élaboration, conception.
2. Murs — Élaboration, conception.
3. Immeubles d'habitation en hauteur — Canada — Élaboration, conception.
4. Maçonnerie — Canada.
I. Société canadienne d'hypothèques et de logement.
II. Titre : Systèmes de mur à placage de brique sur une maçonnerie en béton ou fond à ossature d'acier.

TH2235.E9714 1991 690 ' .8314 C91-098514-6

La présente étude a été menée par R.G. Drysdale, ing., de l'université McMaster, et par G.T. Suter, ing., de Suter Keller Inc. pour le compte de la Société canadienne d'hypothèques et de logement, aux termes de la Partie IX de la *Loi nationale sur l'habitation*. L'analyse, les interprétations et les recommandations qui y paraissent sont celles des experts-conseils et ne reflètent pas nécessairement le point de vue de la Société canadienne d'hypothèques et de logement.

Bien que les auteurs et les réviseurs de ce document aient pris toutes les précautions voulues pour s'assurer que les renseignements qu'il contient sont exacts et représentent les meilleurs conseils possibles, ils ne garantissent aucunement la pertinence de son contenu et n'assument aucune responsabilité pour l'usage qu'on en fera.

© 1991, Société canadienne d'hypothèques et de logement

Imprimé au Canada

Réalisation : Centre des relations publiques, SCHL

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE ET REMERCIEMENTS vii

PARTIE 1 INTRODUCTION À LA PRÉSENTE ÉTUDE ET SYSTÈMES DE MUR À PLACAGE

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.1 BUT 1
1.2 ANTÉCÉDENTS ET PORTÉE 2
1.3 ASPECTS PARTICULIERS DES BÂTIMENTS DE GRANDE HAUTEUR 3
1.4 CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES 4
1.5 AUDITOIRE 5

CHAPITRE 2

LES SYSTÈMES DE MUR CREUX ET DE MUR À PLACAGE

2.1 DESCRIPTION GÉNÉRALE ET DÉFINITIONS 9
2.2 EXIGENCES DES MURS À PLACAGE 9
2.3 FONCTIONS DES COMPOSANTS D'UN MUR À PLACAGE 11
2.4 RÉSUMÉ 16

PARTIE 2 CONSIDÉRATIONS SUR LA STRUCTURE

CHAPITRE 3

EXIGENCES STRUCTURALES

3.1 INTRODUCTION 19
3.2 EXIGENCES GÉNÉRALES DE CONCEPTION ET DE CONSTRUCTION 20
3.3 RÉSISTANCE 20
3.4 UTILISATION 26
3.5 DURABILITÉ 27
3.6 ROBUSTESSE ET HYPERSTATICITÉ 28
3.7 IMPORTANCE DES DÉTAILS 28
3.8 APPROBATIONS 28
3.9 DESSINS D'ATELIER, ÉCHANTILLONS ET CALCULS 30
3.10 MANUTENTION ET ENTREPOSAGE DES MATÉRIAUX 31
3.11 INSPECTIONS 32
3.12 RÉSUMÉ 32

CHAPITRE 4

JOINTS DE DILATATION

4.1 GÉNÉRALITÉS 35
4.2 DÉFORMATION DES MATÉRIAUX ET MOUVEMENTS DU BÂTIMENT 35
4.3 LARGEUR DES JOINTS DE DILATATION DANS UN PLACAGE DE BRIQUES D'ARGILE 37
4.4 JOINTS HORIZONTAUX POUR MOUVEMENTS VERTICAUX 38
4.5 JOINTS VERTICAUX POUR MOUVEMENTS HORIZONTAUX 42

CHAPITRE 5

COMPOSANTS STRUCTURAUX COMMUNS AUX SYSTÈMES DE MUR À PLACAGE

5.1 INTRODUCTION 51
5.2 MUR DE FOND 51
5.3 PLACAGE DE BRIQUE 53
5.4 SUPPORT VERTICAL DU PLACAGE DE BRIQUE 54
5.5 EXIGENCES STRUCTURALES DE LA CORNIÈRE D'APPUI 58
5.6 ATTACHES 61
5.7 DISPOSITIFS D'ANCRAGE 66
5.8 OUVERTURES 66
5.9 EXIGENCES DE CONSTRUCTION PRINCIPALES 67

CHAPITRE 6

SYSTÈME MURAL PBr-MBé : EXIGENCES STRUCTURALES

6.1 INTRODUCTION 75
6.2 MUR DE FOND EN MAÇONNERIE DE BÉTON 75
6.3 ANCRAGE À L'OSSATURE 81
6.4 PLACAGE DE BRIQUE 84
6.5 EXIGENCES DE CONSTRUCTION PRINCIPALES 85

CHAPITRE 7

SYSTÈME MURAL PBr-OA : CONSIDÉRATIONS STRUCTURALES

7.1 INTRODUCTION 87
7.2 MUR DE FOND À OSSATURE D'ACIER 88
7.3 RÈGLES DE CALCUL DU POTEAU D'ACIER 88
7.4 DONNÉES POUR LA CONCEPTION DES RAILS SUPÉRIEUR ET INFÉRIEUR 98
7.5 ENTRETOISEMENT ET CONTREVENTEMENT 107
7.6 ANCRAGE À LA STRUCTURE 112
7.7 PLACAGE DE BRIQUE 115
7.8 ATTACHES 115
7.9 EXIGENCES DE CONSTRUCTION PRINCIPALES 117

PARTIE 3 CONSIDÉRATIONS SUR LA SCIENCE DU BÂTIMENT

CHAPITRE 8

EXIGENCES GÉNÉRALES DE LA SCIENCE DU BÂTIMENT

8.1 INTRODUCTION 121
8.2 PLACAGE 121
8.3 LAME D'AIR (VIDE MURAL) 127
8.4 SOLIN 132
8.5 MUR DE FOND 134
8.6 ATTACHES 134
8.7 CORNIÈRE D'APPUI 138
8.8 ISOLANT THERMIQUE 141
8.9 PARE-AIR ET PARE-VAPEUR 147
8.10 OBTURATION DES JOINTS 154
8.11 PRODUIT D'ÉTANCHÉITÉ, SUPPORT ET PRODUIT DE REMPLISSAGE 154
8.12 POINTS FAIBLES 157
8.13 CONSTRUCTION 159
8.14 PRINCIPALES EXIGENCES DE CONSTRUCTION 160

CHAPITRE 9

SYSTÈME MURAL PBr-MBé : EXIGENCES DE LA SCIENCE DU BÂTIMENT

9.1 INTRODUCTION 163
9.2 PROTECTION CONTRE LES INTEMPÉRIES 163
9.3 RÉSISTANCE AU PASSAGE DE LA CHALEUR 165
9.4 RÉSISTANCE AU PASSAGE DE LA VAPEUR D'EAU 168
9.5 RÉSISTANCE AU PASSAGE DE L'AIR 168
9.6 REVÊTEMENT INTÉRIEUR DE FINITION 170
9.7 EMPLACEMENT DES COMPOSANTS DU MUR 172
9.8 POINTS FAIBLES 172
9.9 PRINCIPALES EXIGENCES DE CONSTRUCTION 173

CHAPITRE 10

SYSTÈME MURAL PBR-OA : EXIGENCES DE LA SCIENCE DU BÂTIMENT

10.1 INTRODUCTION 175
10.2 PROTECTION CONTRE LES INTEMPÉRIES 175
10.3 RÉSISTANCE AU PASSAGE DE LA CHALEUR 179
10.4 RÉSISTANCE AU PASSAGE DE LA VAPEUR D'EAU 181
10.5 RÉSISTANCE AU PASSAGE DE L'AIR 183
10.6 REVÊTEMENT INTÉRIEUR DE FINITION 187
10.7 EMPLACEMENT DES COMPOSANTS DU MUR 187

10.8 POINTS FAIBLES 190
10.9 PRINCIPALES EXIGENCES DE CONSTRUCTION 191

PARTIE 4 SUJETS PARTICULIERS

CHAPITRE 11

RACCORDEMENT DU TOIT À UN MUR EN SURÉLÉVATION

11.1 INTRODUCTION 193
11.2 DÉTAILS 193

CHAPITRE 12

EFFLORESCENCE

12.1 INTRODUCTION 197
12.2 SOURCES DES SELS 197
12.3 SOURCES D'HUMIDITÉ 198
12.4 PRÉVENTION 199
12.5 ÉLIMINATION 200

CHAPITRE 13

RÉSISTANCE AU GEL/DÉGEL

13.1 INTRODUCTION 203
13.2 CRITÈRES DÉFINIS PAR LE CODE 204
13.3 TRAVAUX DE RECHERCHE RÉCENTS 204
13.4 RÈGLES DE CONDUITE 205

CHAPITRE 14

ENDUITS PROTECTEURS

14.1 INTRODUCTION 207
14.2 PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX UTILISÉS EN MAÇONNERIE 207
14.3 TYPES D'ENDUIT PROTECTEUR 207
14.4 RÈGLES DE CONDUITE 209

CHAPITRE 15

ENTRETIEN ET RÉPARATION

15.1 INSPECTIONS APRÈS LA CONSTRUCTION 211
15.2 FRÉQUENCE ET NATURE DES INSPECTIONS 213
15.3 CAUSES DE DÉGRADATION 214
15.4 SIGNES DE DÉGRADATION LÉGÈRE 214
15.5 SIGNES DE DÉGRADATION GRAVE 220
15.6 COMPORTEMENT DES DIVERS TYPES DE REVÊTEMENT EXTÉRIEUR 222

BIBLIOGRAPHIE 223

PRÉFACE ET REMERCIEMENTS

En 1981, la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) a publié un document d'orientation fort utile intitulé *Construction des murs extérieurs des bâtiments de grande hauteur*, rédigé par W.G. Plewes. Pour la première fois au Canada, cette publication examinait en profondeur ce qu'on pourrait appeler les *nouveaux murs creux et murs à placage en maçonnerie* des bâtiments à ossature. Bien que ces types de mur extérieur aient été largement utilisés à ce moment-là, le nombre croissant des problèmes de comportement qu'on y rencontrait nécessitait qu'on procède à un examen global des questions, telles que la conception, la construction, la surveillance des travaux et l'inspection, qui peuvent être à l'origine de ces problèmes.

La présente publication se veut, certes, une mise à jour du document de 1981, mais elle est surtout un exposé des meilleures méthodes de conception et de construction, tant pour le système traditionnel de mur à placage de brique sur fond de maçonnerie en béton (PBr-MBé) que pour le système relativement récent de mur à placage de brique sur fond à ossature d'acier (PBr-OA). Depuis dix ans surtout, le système mural PBr-OA est devenu plus populaire au Canada, parce qu'il constitue une façon économique de construire l'enveloppe d'un bâtiment. En nous fondant, cependant, sur une enquête parrainée par la SCHL (*Brick Veneer/Steel Stud Wall Design and Construction Practices in Canada-Results of a 1986 Survey*), sur les observations personnelles des auteurs et sur notre examen général de la question, nous pouvons dire que la construction du système mural PBr-OA a précédé l'élaboration de normes appropriées de conception, de construction et d'inspection. D'où, dans de nombreux secteurs de l'industrie de la construction, une certaine inquiétude concernant la sécurité, le comportement en situation et la durabilité à long terme de ce genre de construction.

La présente publication a donc pour but d'examiner les aspects particuliers de la conception, de la construction et de l'inspection qui, à long terme, peuvent influer sérieusement sur le rendement des systèmes muraux PBr-OA et PBr-MBé.

Les auteurs remercient la SCHL et W.G. Plewes de leur avoir permis d'inclure ici certains passages et dessins du document d'orientation de 1981.

La préparation de la présente publication a été financée dans le cadre d'un contrat passé avec la Division de la mise en œuvre des projets (SCHL). Les auteurs remercient R. Duncan et Jacques Rousseau, directeurs de projet de la SCHL, et les conseillers techniques affectés au projet, pour le dévouement et l'intérêt dont ils ont fait preuve au cours de cette étude. Ces conseillers techniques sont : C.A.E. Fowler, architecte-ingénieur, Halifax; A.J. Garwood, ingénieur-conseil de structure, Ottawa; T.W.J. Trestain, expert-conseil, Toronto; W.G. Plewes, expert- conseil, Winnipeg; et P. Zirpke, entrepreneur en maçonnerie, Vancouver.

PARTIE 1 INTRODUCTION À LA PRÉSENTE ÉTUDE ET SYSTÈMES DE MUR À PLACAGE

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.1 BUT

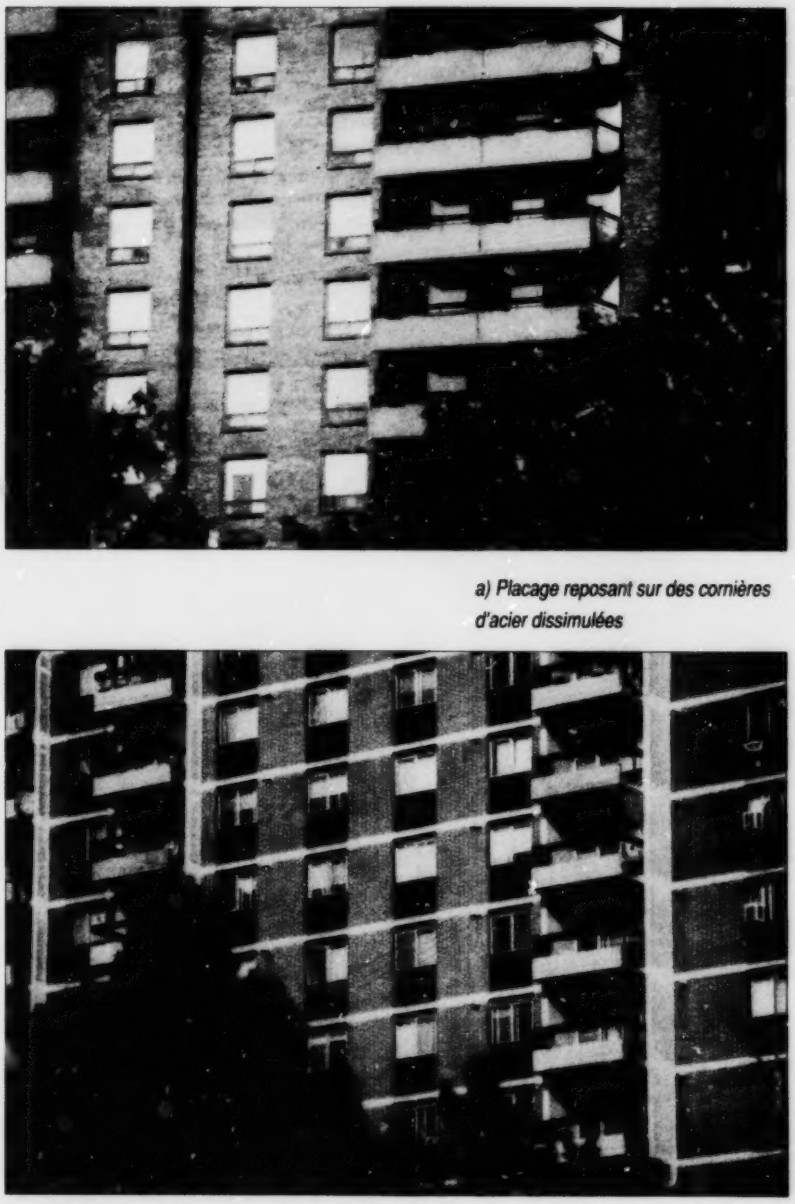
Depuis les années 1950, les murs à placage de brique sont largement utilisés au Canada, puisqu'ils constituent une façon économique de construire l'enveloppe d'un bâtiment, surtout dans le cas des bâtiments de grande hauteur. La figure 1.1 en donne deux exemples typiques. Ces murs ont certains avantages qui les ont rendus populaires :

- l'humidité qui pénètre dans le placage de brique du mur peut s'écouler dans une lame d'air à l'arrière du placage et être rejetée à l'extérieur par un ensemble approprié de solins et de trous d'évacuation; et
- dans certains cas, il peut être pratique d'installer l'isolant dans la lame d'air plutôt qu'à l'intérieur du mur de fond.

Les murs à placage bien construits ont donné un bon rendement dans le passé. Depuis quelques années, cependant, les défauts de conception ou de construction ont trop souvent entraîné la dégradation du revêtement extérieur et nécessité des réparations coûteuses.[1]

La cause principale de ces erreurs réside dans le non-respect des méthodes de construction et des principes de conception reconnus.[2,3,4,5] Les méthodes de construction doivent se conformer aux exigences régionales particulières lorsqu'elles diffèrent en raison des conditions climatiques diverses que connaît le Canada.

L'infiltration de la pluie est le problème le plus courant[6,7,8,9,10] mais non le seul; il ne faut pas oublier la condensation dans les murs causée par l'humidité provenant de l'intérieur du bâtiment, la corrosion des dispositifs d'assemblage, l'épaufrure des briques, et le bombement des panneaux dû aux variations dimensionnelles résultant de l'humidité, du retrait de l'ossature et de la chaleur (figures 1.2 à 1.5). Ces problèmes ont aussi été signalés dans plusieurs autres pays.[11,12]



a) Placage reposant sur des cornières d'acier dissimulées

b) Placage reposant sur les dalles de plancher qui se prolongent jusqu'à l'extérieur

▼*Figure 1.1 Apparence de bâtiments résidentiels de grande hauteur dont les murs extérieurs sont recouverts d'un placage de brique*

Bien que la présente publication donne beaucoup de détails de conception et de construction, elle n'est qu'un document d'orientation et non un manuel de conception ou de construction. Le document vise à souligner les causes précises des vices de comportement des murs extérieurs des bâtiments de grande hauteur. Afin d'éviter de tels problèmes à l'avenir, on y expose, illustrations à l'appui, les principes de conception des murs.

▼ *Figure 1.2 Taches d'efflorescence causées par les fuites d'air et la condensation dans le mur*

Les dessins ne sont pas complets, en particulier en ce qui a trait aux dimensions et au choix des matériaux; ce sont plutôt des dessins schématiques qui facilitent la discussion des facteurs qui influent sur le comportement du mur.

La science moderne du bâtiment englobe une vaste technologie, mais afin de garder le texte dans des limites raisonnables, nous nous sommes efforcés d'éviter les explications par trop complexes. On trouvera un exposé exhaustif sur le sujet dans d'autres publications.[13,14] Le cas échéant, nous nous référons à d'autres publications et à des sujets de conception et de construction traités dans le *Code national du bâtiment du Canada* (CNB), dans les *Normes de construction résidentielle* et dans les normes de l'ACNOR. Les normes et les codes qui s'appliquent à notre sujet sont énumérés dans la bibliographie.

1.2 ANTÉCÉDENTS ET PORTÉE

De nos jours, deux sortes de mur de fond sont couramment utilisés au Canada pour la construction des murs à placage de brique des bâtiments de grande hauteur; ce sont le mur de fond en maçonnerie de blocs de béton (MBé) et le mur de fond à ossature d'acier (OA). Le mur de fond en blocs de béton est utilisé depuis plusieurs décennies, mais le mur de fond à ossature d'acier n'est entré sur le marché canadien que dans les années 1970. Lorsque la SCHL a publié le document d'orientation *Construction des murs extérieurs des bâtiments de grande hauteur*[15] en 1981, le mur de fond à ossature d'acier n'était encore qu'à ses débuts au Canada, ce qui explique pourquoi l'ouvrage susmentionné insistait surtout sur les questions reliées au mur de fond en blocs de béton.

Une étude récente parrainée par la SCHL et traitant des méthodes de construction du système de mur extérieur à placage de brique sur fond à ossature d'acier,[16,17] constate que les méthodes de conception et de construction varient considérablement et que les concepteurs et les entrepreneurs cherchent à se renseigner sur les meilleures méthodes à suivre. De toute évidence, une version à jour du document de 1981 est nécessaire, une version qui traite de toutes les questions importantes des systèmes de mur extérieur, qu'ils soient à placage de brique sur fond de maçonnerie en béton (PBr-MBé) ou à placage de brique sur fond à ossature d'acier (PBr-OA). Tel est le but général de la présente publication, qui comporte aussi les buts secondaires suivants :

- discuter du principe de l'écran pare-pluie et de son rôle dans la lutte contre les infiltrations d'eau dans les murs;
- exposer les meilleures méthodes actuelles de conception, de construction et d'inspection;
- expliquer les défauts courants et les mesures à prendre pour les corriger;
- présenter les détails de construction suggérés; et
- énumérer les exigences des codes et des normes en cause.

1.3 *ASPECTS PARTICULIERS DES BÂTIMENTS DE GRANDE HAUTEUR*

D'après le *Code national du bâtiment du Canada*,[18] les bâtiments de plus de trois étages doivent être conçus et construits selon les dispositions des Parties 1 à 8 du CNB, plutôt que selon les dispositions de la Partie 9 ou celles des *Normes de construction résidentielle*.[19] Un bâtiment de grande hauteur est donc, dans le présent document, un bâtiment de quatre étages ou plus.

Bien que la conception et la construction des bâtiments de grande hauteur et des bâtiments de faible hauteur soient semblables sous de nombreux aspects, ceux de grande hauteur présentent certaines particularités qui entraînent des exigences plus rigoureuses et requièrent plus d'attention, à savoir :

- à cause de leur hauteur, ils sont plus exposés aux intempéries, entre autres aux rafales de pluie;
- la différence de pression d'air de part et d'autre des murs extérieurs s'accroît avec la hauteur du bâtiment et intensifie les fuites d'air;[20]
- à cause de leurs dimensions, leur inspection minutieuse pendant ou après la construction est plus difficile;

▼ *Figure 1.3 Épaufrure des briques, à la hauteur de la cornière d'appui, par manque de joint de dilatation horizontal. Le retrait de l'ossature et la dilatation du placage de brique ont provoqué des contraintes imprévues dans le placage.*

- de grandes parties du bâtiment sont moins facilement accessibles, ce qui en rend la réparation plus complexe et plus coûteuse;
- comme les détails de construction s'y répètent plus souvent, tout défaut de conception d'un composant ou tout mauvais procédé de construction se répète nécessairement un grand nombre de fois et augmente d'autant le coût des réparations;
- les mouvements de dilatation et de retrait verticaux dus aux variations hygrométriques et thermiques sont amplifiés;
- la structure est souvent soumise à d'importants mouvements horizontaux; et
- lorsque le bâtiment se dégrade, il peut mettre la sécurité du public en danger.

▼ *Figure 1.4 Gros plan de briques épaufrées, à la hauteur d'une cornière d'appui, par manque de joint de dilatation horizontal*

1.4 *CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES*

Pour obtenir un rendement satisfaisant à long terme du revêtement mural extérieur, il faut tenir compte des réalités climatiques de chaque lieu géographique, soit pour le choix des matériaux et les détails de conception, soit pour l'application des exigences de construction et d'inspection. Les diverses conditions environnementales dont il faut tenir compte au Canada sont l'humidité, le vent, la température (surtout les variations de température qui provoquent de nombreux cycles de gel/dégel) et les agents corrosifs tels que les dépôts de sel, dans les régions maritimes, ou certains polluants industriels.

Malheureusement pour les concepteurs de modèles d'enveloppe de bâtiment, il n'existe pas de classification des diverses régions du Canada selon la sévérité des conditions environnementales. La publication récente de l'Association canadienne de normalisation intitulée, *Éléments de liaison de la maçonnerie*, donne un aperçu des agents corrosifs qu'on retrouve dans l'atmosphère des diverses régions du Canada.[21] Bien que l'information à ce sujet ne soit pas directement reliée au comportement des divers types de revêtement extérieur et de leurs composants, il est quand même utile de souligner la grande variété de ce qu'on appelle les indices de corrosion atmosphérique au Canada.

En l'absence de directives plus détaillées qui guideraient le concepteur dans les choix qu'il a à faire dans les diverses conditions environnementales pouvant influer sur le rendement à long terme des systèmes d'enveloppe de bâtiment, il est recommandé :

- de se rappeler au moins que les conditions environnementales diffèrent d'une région à l'autre et qu'il se peut, par exemple, que les exigences en matière de matériaux et les détails de conception diffèrent sensiblement aussi, selon que le projet est réalisé à Halifax et non à Calgary;
- de vérifier les données locales relatives au comportement des matériaux; et
- d'évaluer les risques d'augmentation des effets nuisibles de l'atmosphère dans une région donnée, parce que le développement industriel, par exemple, est susceptible d'y produire, avec le temps, davantage d'agents corrosifs.

1.5 AUDITOIRE

Bien que la présente publication s'adresse principalement aux concepteurs et aux entrepreneurs, l'auditoire visé comprend aussi les architectes d'ensembles résidentiels, les ingénieurs de structures, les entrepreneurs généraux, les sous-traitants, les fabricants, les experts en bâtiment et les agents du bâtiment.

▼ *Figure 1.5 Attaches corrodées provenant de murs à placage de brique détériorés à cause de défauts de conception et de construction*

RÉFÉRENCES

1 J. W. Cowie Engineering Limited, *Investigation of Exterior Walls, Windows and Roof Alderney Manor, Alderney Drive, Dartmouth, Nova Scotia*, Rapport pour la Société canadienne d'hypothèques et de logement, Bureau de Halifax, 1976.

2 Alberta Building Envelope Council, *Building Envelope Failures : Causes and Remedial Measures*, Seminar N° 1 — Walls, ABEC, Calgary, mars 1985.

3 Brand, R., *Architectural Details for Insulated Buildings*, Carleton University, Ottawa.

4 Société canadienne d'hypothèques et de logement, *Les problèmes d'humidité*, Série Constructeurs, LNH 6011, septembre 1988, 38 pages.

5 Grimm, C. T., *Brick Veneer : A Second Opinion*, The Construction Specifier, Alexandria, Vt., avril 1984.

6 Davison, J. I., *La pénétration de la pluie et les systèmes de mur de maçonnerie*, Note d'information de recherche sur le bâtiment n° 12, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches du Canada, 1979.

7 Davison, J. I., *La pénétration de la pluie et les détails de conception des murs de maçonnerie*, Note d'information de recherche sur le bâtiment n° 13, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches du Canada, 1979.

8 Davison, J. I., *Qualité d'exécution et pénétration de la pluie dans les murs de maçonnerie*, Note d'information de recherche sur le bâtiment n° 16, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches du Canada, 1980.

9 Grimm, C. T., *Water Permeance of Masonry Walls : A Review of the Literature*, Masonry : Materials Properties and Performance, ASTM STP778, 1982, pp. 178-199.

10 Ritchie, I., *Pénétration de la pluie dans les murs de maçonnerie composite*, Digeste de la construction au Canada n° 6, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches, Ottawa, juin 1980.

11 de Vekey, R. C., *Corrosion of Steel Wall Ties : Recognition, Assessment and Appropriate Action*, Building Research Establishment Information Paper IP28/79, Garston, BRE, 1979.

12 Kumar, S. et R. Heidersbach, *Corrosion of Steel Stud Masonry Buildings*, Proceedings, Fourth Canadian Masonry Symposium, University of New Brunswick, Fredericton, N.B.,
pp. 826-839.

13 ASHRAE Handbook of Fundamentals, The American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc., New York, 1985.

14 Hutcheon, N. B. et G. O. P. Handegord, *Building Science For a Cold Climate*, John Wiley & Sons, Toronto, 1983, 440 pages.

15 Plewes, W. G., *Construction des murs extérieurs des bâtiments de grande hauteur*, Conseils et recommandations : murs creux et placages de maçonnerie dans les bâtiments à ossature, document d'orientation, Société canadienne d'hypothèques et de logement, 1981, 73 pages.

16 Duncan, R. L., *Brick Veneer/Steel Stud Wall Systems : An Overview*, Proceedings Fourth Conference on Building Science and Technology, Toronto, Ontario, 1988.

17 Keller, H., *Brick Veneer/Steel Stud Wall Design and Construction Practices in Canada*, Results of a 1986 Survey, préparé par Suter Keller Inc. pour la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, 1986, 98 pages.

18 Conseil national de recherches, *Code national du bâtiment du Canada 1985*, Comité associé du Code national du bâtiment, Ottawa, 1985.

19 Conseil national de recherches, *Normes de construction résidentielle*, Comité associé du Code national du bâtiment, Ottawa, 1985.

20 Wilson, A. G. et G. T. Tamura, *Stack Effects in Buildings*, Digeste de la construction au Canada n° 104, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches, Ottawa, 1968.

21 Association canadienne de normalisation, CAN3-A370-M84, *Éléments de liaison de la maçonnerie*, ACNOR, Rexdale, 1984.

CHAPITRE 2

LES SYSTÈMES DE MUR CREUX ET DE MUR À PLACAGE

2.1 DESCRIPTION GÉNÉRALE ET DÉFINITIONS

Le système de mur creux et le système de mur à placage ont tous deux un revêtement extérieur fait de brique ou d'un autre matériau de maçonnerie, séparé d'un mur de support, ou mur de fond, par un vide, ou lame d'air. Il est souvent difficile de distinguer ces deux types de mur par leur seule apparence ou leur comportement. Bien que ces deux expressions soient souvent interchangeables, il importe de bien saisir les différences qu'elles recouvrent. En termes plus précis, dans le mur à placage, le revêtement extérieur est un placage (ou parement) non porteur, attaché à un mur de fond, mais ne contribuant pas, en principe, à supporter avec lui les charges latérales ni verticales. Dans le mur creux, par contre, le revêtement extérieur et le mur de fond supportent ensemble les charges latérales, ainsi que, dans certains cas, les charges verticales.[1]

Bien que les placages ne soient pas conçus pour supporter les charges latérales et verticales, leur rigidité et l'état de leur support font qu'ils y contribuent souvent. Nous traiterons plus loin des conséquences de ce partage non intentionnel des charges, lorsque nous parlerons des murs de fond à ossature d'acier.

Les quatre types de mur de fond couramment utilisés au Canada sont :

- la maçonnerie de blocs en béton, porteuse ou non porteuse;
- l'ossature de poteaux d'acier, porteuse de charges verticales ou non;
- le béton; et
- l'ossature de poteaux de bois.

Étant donné que, dans le construction des bâtiments résidentiels de grande hauteur au Canada, les murs de fond non porteurs en maçonnerie ou à ossature d'acier sont de loin les modes de construction les plus utilisés, nous ne traiterons dans ce document que des questions de conception, de construction et d'entretien qui les concernent.

Dans ce type de construction, le placage est supporté à chaque étage par une cornière en acier ou par la dalle de béton armé. Dans le cas des structures en acier, il arrive qu'on utilise une plaque d'appui en acier au lieu d'une cornière.

En résumé, le présent document d'orientation traite des questions de conception, de construction et d'entretien relatives aux placages de brique reposant verticalement sur une cornière en acier ou sur la dalle de béton armé et soutenus latéralement par un mur de fond non porteur en maçonnerie de béton (MBé) ou à ossature d'acier (OA).

Les deux types de mur de fond ont des avantages et des désavantages, qui sont résumés dans le tableau 2.1.

2.2 EXIGENCES DES MURS À PLACAGE

Tout comme pour la construction d'autres types de mur extérieur, les murs à placage doivent satisfaire à certaines exigences de base, à savoir :

- l'esthétique;
- la durabilité;
- l'étanchéité à l'air;
- l'étanchéité à la vapeur d'eau;
- la résistance au feu;
- l'isolation acoustique;
- l'isolation thermique; et
- la résistance et la rigidité structurales.

TABLEAU 2.1 AVANTAGES ET DÉSAVANTAGES DES MURS EN MBé OU À OA

MUR DE FOND EN MBé

Avantages	*Désavantages*
• rendement satisfaisant pendant de nombreuses années	• son poids est considérable
• grande rigidité qui empêche le placage de craquer sous l'effet des surcharges latérales dues au vent et aux séismes	• des détails de construction concernant son raccordement latéral avec la structure sont nécessaires
• système mural continu qui supporte l'isolant, le pare-air, le pare-vapeur et les revêtements intérieurs de finition	• il occupe une aire de plancher non négligeable
• peu de composants sont sujets à la corrosion ou à d'autres formes de détérioration	• l'installation de l'électricité et des autres services y est complexe, et difficile à modifier quand des changements s'imposent
	• sa rigidité exige des espaces sur les côtés pour permettre le glissement relatif entre étages de la structure

MUR DE FOND À OA

Avantages	*Désavantages*
• son poids est faible	• les données sur son rendement à long terme sont rares
• sa construction n'est guère dérangée par les conditions climatiques	• il est un peu trop flexible pour bien jouer son rôle de support d'un placage rigide, ce qui peut y provoquer des fissures
• il occupe relativement peu d'aire de plancher	• des dessins détaillés sont nécessaires pour nombre de composants et d'éléments de liaison
• l'installation ou la modification de l'électricité et des autres services y sont faciles	• il nécessite un bon nombre d'inspections parce que les détails de construction y deviennent vite cachés
• la pose de l'isolant y est facile	• les composants métalliques, en particulier les attaches, peuvent être sujets à la corrosion

Une maçonnerie à simple épaisseur est rarement tout à fait imperméable à la pluie poussée par le vent, mais un placage pourvu d'orifices appropriés remplit en quelque sorte un rôle d'écran pare-pluie ouvert qui réduit les infiltrations d'eau dans le revêtement extérieur. La figure 2.1 illustre ce principe de l'écran pare-pluie. Si la pression de l'air extérieur et la pression d'air dans le vide mural sont égales, la pluie a beaucoup moins tendance à traverser le placage; telle est l'application du principe de l'écran pare-pluie ouvert. Alors que dans un mur à placage typique, la présence de chantepleures et d'orifices de ventilation permet d'égaliser à peu près la pression d'air des deux côtés du placage, il faut s'attendre à ce que la pluie poussée par le vent passe à travers le placage, comme on peut le voir dans la figure 2.1; mais le solin et les chantepleures à la base du mur rejettent à l'extérieur l'eau qui s'est infiltrée jusque dans la lame d'air.

Beaucoup de composants contribuent au bon comportement d'un système mural à placage. Ces composants et leurs fonctions sont l'objet de la section qui suit.

2.3 *FONCTIONS DES COMPOSANTS D'UN MUR À PLACAGE*

Les composants des deux systèmes de mur à placage apparaissent dans les figures 2.2 et 2.3. En voici une brève description.

PLACAGE

Étant l'élément le plus extérieur du système mural, le placage protège les composants intérieurs contre la pluie, la neige, les rayons solaires et le vent. Il contribue aussi, mais à un degré moindre, à l'isolation thermique globale du système mural. L'apparence du bâtiment dépend en grand partie de la couleur, de la texture, de l'appareillage et de la durabilité des briques du placage.

LAME D'AIR

La lame d'air qui sépare le placage et le mur de fond permet d'égaliser la pression d'air des deux côtés du placage et de réduire ainsi les infiltrations d'eau. De plus, l'eau qui traverse quand même le placage ne peut pratiquement pas rejoindre le mur de fond, puisqu'elle tombe au fond du vide mural jusqu'au solin et aux chantepleures par où elle est rejetée à l'extérieur.

MUR DE FOND

La principale fonction du mur de fond consiste à résister aux surcharges latérales. Les murs de fond non porteurs en MBé ou à OA ne sont jamais conçus pour supporter les charges verticales. Le mur de fond supporte aussi l'isolant, le pare-air, le pare-vapeur et le revêtement intérieur de finition.

ATTACHES

Les attaches, en transmettant au mur de fond les surcharges qui s'exercent latéralement sur le bâtiment, servent de support latéral au placage qui est généralement mince et l'empêchent de se fissurer abondamment et peut-être même de s'affaisser. Bien que les attaches doivent être rigides axialement, elles doivent quand même être assez flexibles pour permettre les mouvements différentiels entre le placage et le mur de fond.

ISOLANT

L'isolant est le composant le plus important; il résiste au passage de la chaleur à travers le système mural, réduisant ainsi les frais de chauffage ou de climatisation. L'isolant peut s'installer sur la face intérieure du mur de fond, ou en dedans du mur de fond, ou dans la lame d'air sur la face extérieure du mur de fond; on peut également opter pour une combinaison de ces divers modes d'installation.

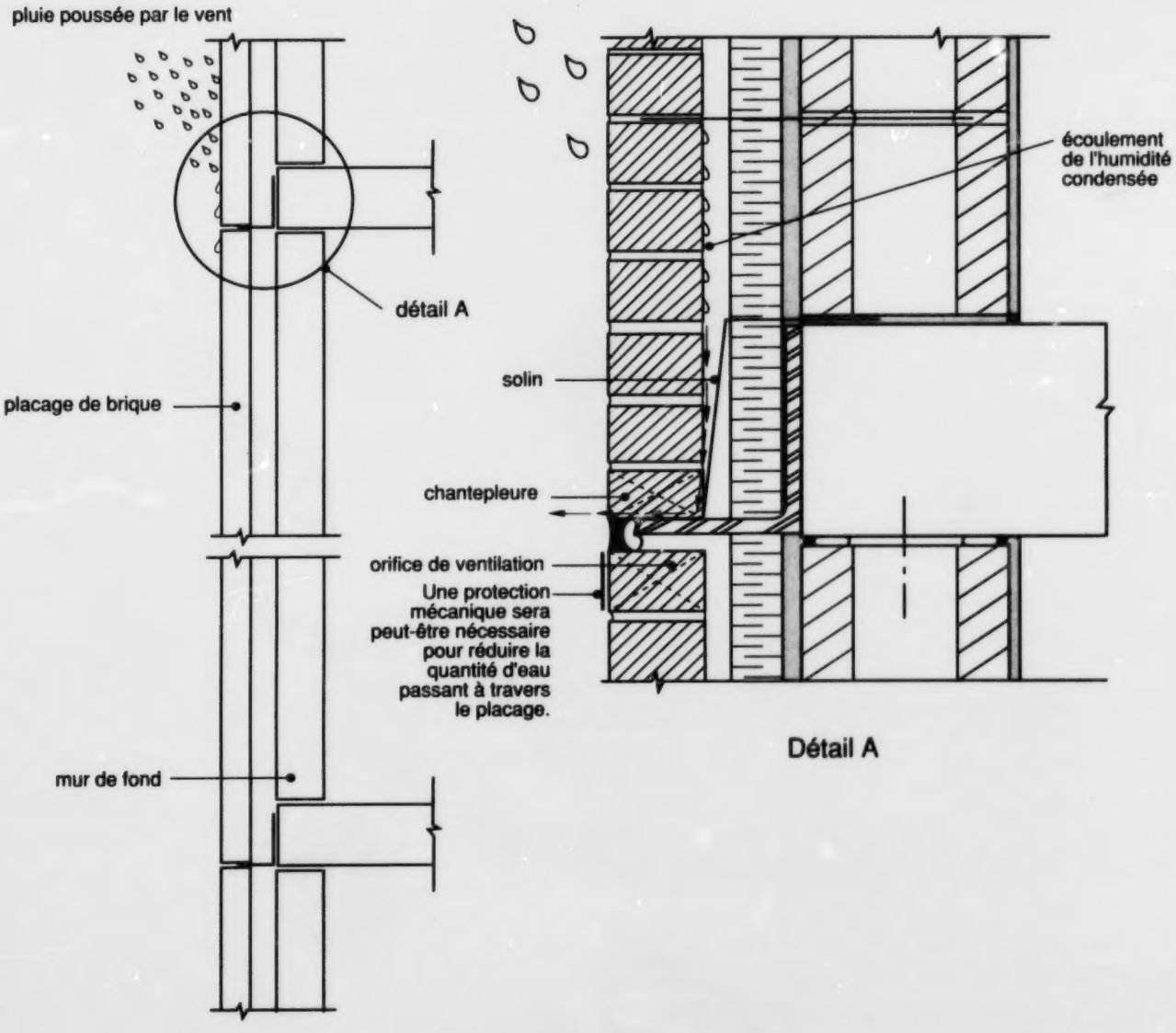


Figure 2.1 Principe de l'écran pare-pluie ouvert

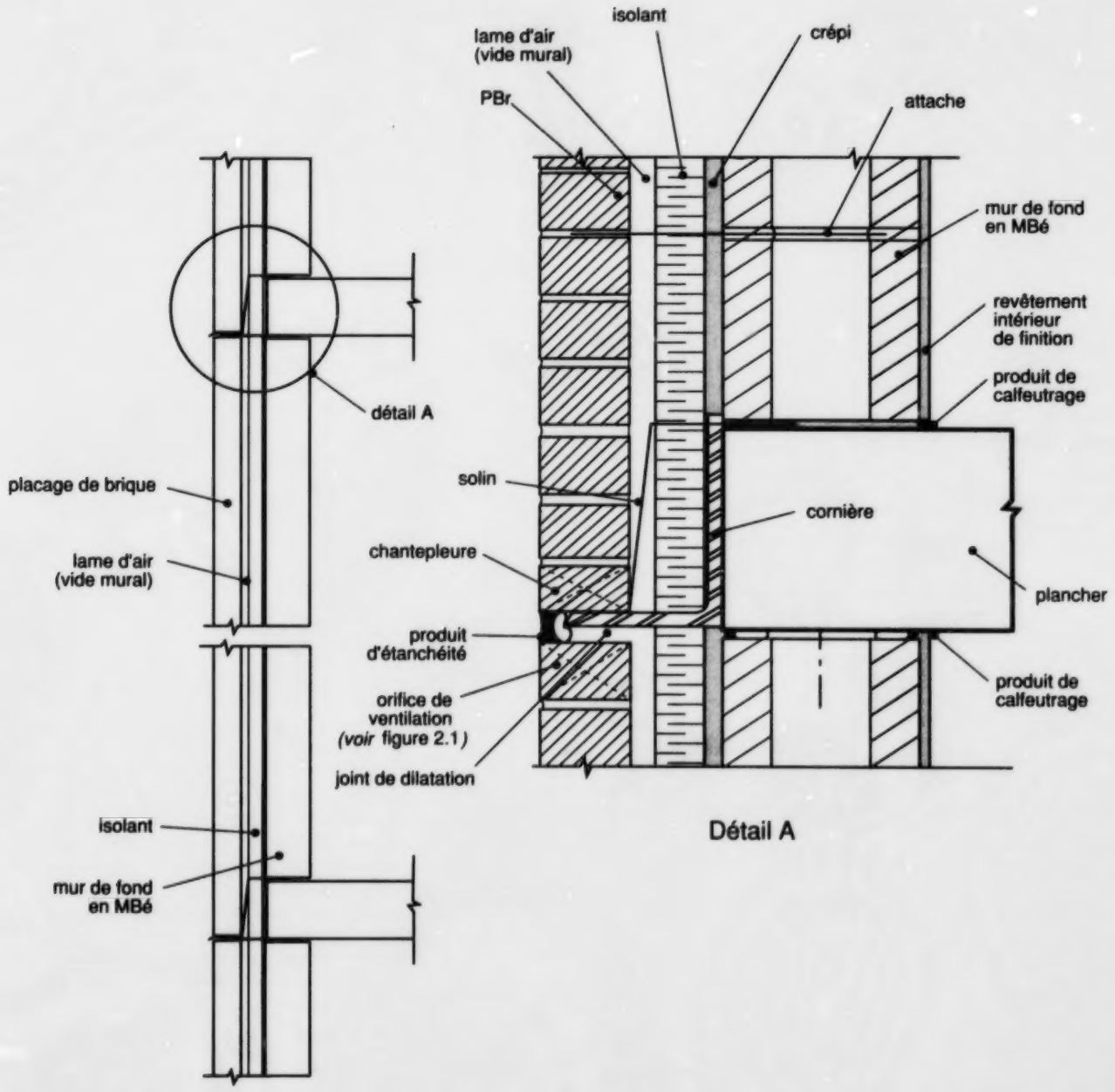


Figure 2.2 Composants d'un système mural PBr-MBé

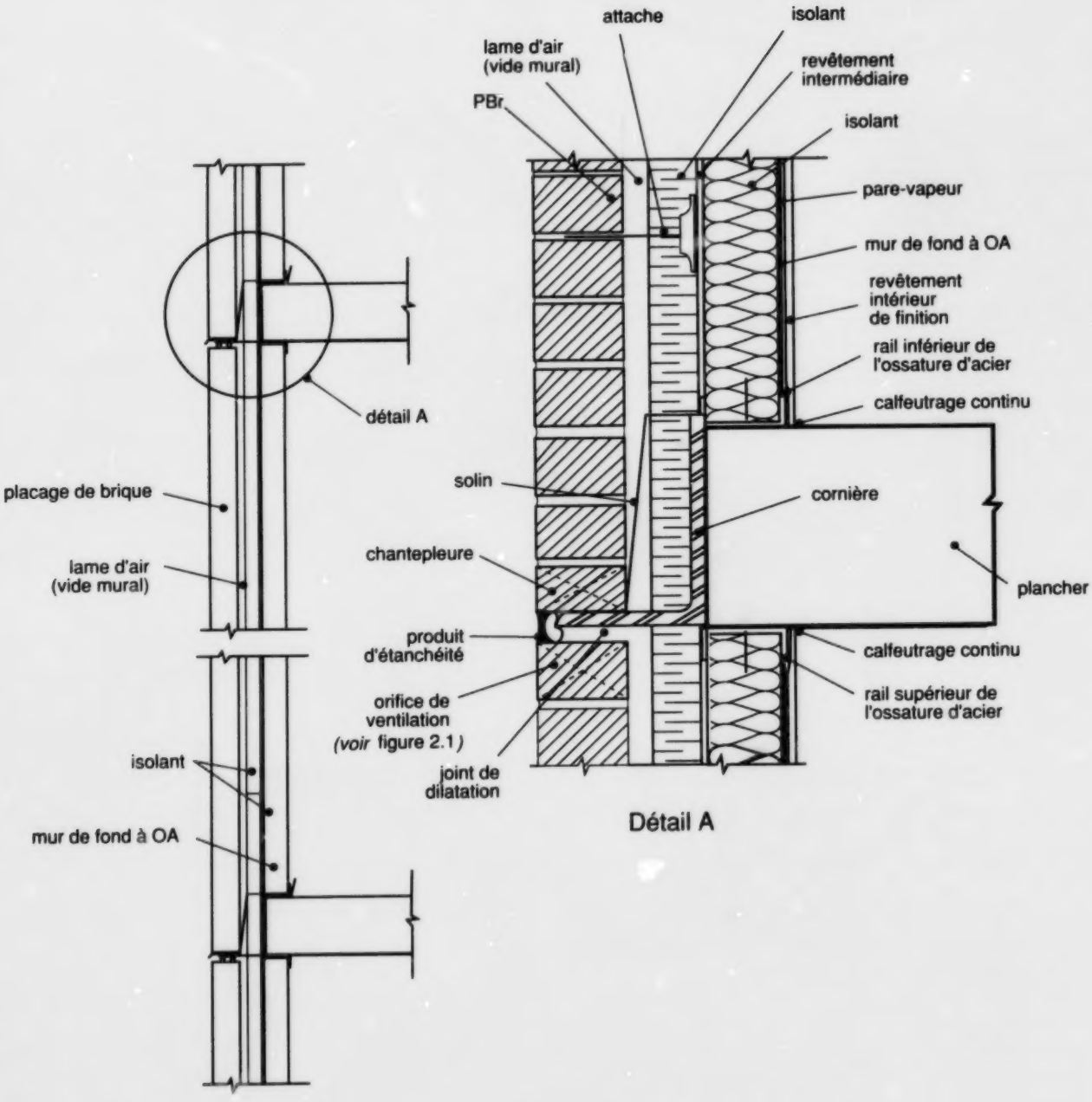


Figure 2.3 Composants d'un système mural PBr-OA

PARE-VAPEUR

La fonction du pare-vapeur est de retarder la diffusion de la vapeur d'eau à travers le mur, de l'intérieur vers l'extérieur habituellement. Le pare-vapeur prévient la condensation due à la diffusion à l'intérieur du système mural.

PARE-AIR

Le pare-air réduit le passage de l'air, vers l'intérieur (infiltration) ou vers l'extérieur (exfiltration), à travers les fentes, les espaces et les orifices qu'on trouve inévitablement dans le mur de fond. Ceci, à son tour, réduit les pertes de chaleur ainsi que les risques de condensation, à l'intérieur du mur, de l'humidité transportée par l'air en provenance de l'intérieur.

SYSTÈME DE SUPPORT

Il existe deux dispositifs de support, l'un pour le placage, l'autre pour le mur de fond.

Le dispositif qui supporte le placage est habituellement une cornière d'acier qui est solidement fixée à la rive de la dalle de plancher. Le placage peut aussi reposer directement sur la dalle de plancher lorsqu'elle se prolonge jusqu'à l'extérieur. La fonction principale du support du placage consiste à en porter le poids.

La principale fonction des dispositifs de support du mur de fond consiste à en porter le poids et à transmettre à la structure les surcharges latérales qui s'exercent sur lui. Les supports du mur de fond, qu'il s'agisse d'un mur de fond à OA ou d'un mur de fond non porteur en MBé, doivent permettre à la dalle de plancher qui est au-dessus du mur de fond de fléchir librement sans exercer d'efforts de compression sur le mur de fond.

SOLIN

L'humidité peut s'accumuler dans la lame d'air, soit par infiltration à travers le placage, soit par condensation de l'air qui fuit de l'intérieur. La fonction du solin consiste à évacuer cette eau et à protéger ainsi tous les composants du mur de fond sensibles à l'humidité.

CHANTEPLEURES ET ORIFICES DE VENTILATION

Les chantepleures et les orifices de ventilation sont de petites ouvertures laissées volontairement dans un placage de brique, en omettant de mettre du mortier dans certains joints verticaux de la brique; on peut aussi ménager ces ouvertures à l'aide de petits conduits de plastique, de métal ou d'un autre matériau, insérés dans le placage. Des conduits en forme de T ou d'autres dispositifs peuvent assurer la protection mécanique des chantepleures et des orifices de ventilation. Les chantepleures, habituellement ménagées dans le rang de briques le plus bas, juste au-dessus du solin, servent à évacuer l'eau de la cavité. Les orifices de ventilation, situés en partie supérieure du mur, assurent la circulation d'air; la concentration d'humidité de la cavité et des matériaux la formant s'en trouve ainsi réduite. Les chantepleures et les orifices de ventilation contribuent à égaliser la pression d'air des deux côtés du placage de brique.

JOINTS DE DILATATION

On trouve habituellement, dans le système mural à placage de brique, deux joints de dilatation horizontaux. Le premier est situé entre le rang de briques supérieur du placage et le dessous de la cornière d'appui située au-dessus; ce joint permet à tout mouvement différentiel entre le placage et la structure de se produire sans créer de contraintes indésirables dans le placage. Le second joint doit être placé entre le sommet du mur de fond et le dessous de la dalle de plancher, que le mur de fond soit en maçonnerie de béton ou à ossature d'acier. Ce joint prévient la création de contraintes dans le mur de fond lorsque la structure se contracte et que la poutre ou la dalle fléchit légèrement avec le temps sous l'effet de diverses déformations.

Dans les placages de grande longueur et aux endroits critiques du placage, des joints de dilatation verticaux réduisent la formation de fissures qui nuisent à l'apparence du bâtiment et peuvent même l'endommager. Des joints de dilatation sont aussi nécessaires dans le placage, près des fenêtres et des autres ouvertures ainsi qu'à tout changement important dans le profil du mur, afin de permettre les mouvements différentiels entre le placage et le mur de fond, sans endommager les bâtis de porte et de fenêtre.

PRODUITS D'ÉTANCHÉITÉ DES JOINTS

Les joints de dilatation pratiqués dans le placage sont fermés à l'aide d'un produit d'étanchéité, afin de prévenir l'entrée d'humidité, de saleté et d'autres corps étrangers; les joints pratiqués dans le mur de fond sont fermés de la même façon, afin de réduire les exfiltrations au minimum. Les produits d'étanchéité utilisés doivent pouvoir changer de forme à plusieurs reprises sans perdre leur élasticité avec le temps.

2.4 RÉSUMÉ

Pour que le rendement des systèmes muraux PBr-MBé et PBr-OA soit satisfaisant à long terme, il faut bien veiller à la conception, à la construction et à l'entretien de leurs composants. Les parties 2 à 4 du présent document traitent des exigences relatives à ces trois points.

RÉFÉRENCE

1 Association canadienne de normalisation, CAN3-A370-M84, *Éléments de liaison de la maçonnerie*, ACNOR, Rexdale, 1984, 69 pages.

PARTIE 2 CONSIDÉRATIONS SUR LA STRUCTURE

CHAPITRE 3

EXIGENCES STRUCTURALES

3.1 INTRODUCTION

Bien que la conception et la construction des systèmes muraux à placage de brique soient deux phases distinctes du processus de construction, le concepteur doit tenir compte des facteurs qui influent sur la qualité de la construction.

RÔLE DU CONCEPTEUR

Sa conception ne doit pas imposer des tâches déraisonnables aux ouvriers de la construction, hors des normes habituellement suivies pour une construction de bonne qualité. Elle doit aussi éviter d'exiger de nouvelles aptitudes en construction et d'inhabituelles méthodes ou séquences de travail, afin que la construction puisse progresser de façon ordonnée et efficiente.

Qu'il utilise ou non de nouveaux concepts ou de nouvelles méthodes de construction, le concepteur doit reconnaître qu'il existe d'importantes exigences structurales pour tout système mural et que, de fait, les méthodes suivies jusqu'ici n'étaient peut-être pas adéquates. En plus des aspects structuraux de base, la conception détaillée des plans et le choix éventuel de l'entrepreneur doivent tenir compte :

- de la formation actuelle de la main-d'œuvre et de celle qu'elle devrait avoir;
- de la disponibilité et de la qualité de la surveillance;
- de la fréquence et de l'efficacité des inspections;
- de l'interaction des détails de conception avec la structure principale;
- de l'interaction avec les aspects de la conception reliés à la science du bâtiment; et
- des exigences spéciales relatives aux plans, au cahier des charges et aux dessins d'exécution.

RÔLE DE L'ENTREPRENEUR

On peut certes expliquer aux entrepreneurs et aux ouvriers de la construction ce qu'on attend d'eux, mais il est plus probable qu'ils se conformeront aux stipulations du cahier des charges s'ils comprennent le raison d'être de certains détails de construction et les conséquences qui peuvent découler de la mauvaise exécution des travaux. Ils n'ont pas besoin, par exemple, de connaître la théorie du flambement par flexion et torsion, mais s'ils savent que le fait de ne pas fixer proprement l'entretoise interne aux poteaux d'acier permet à ceux-ci de se tordre et de céder sous des charges bien inférieures, ils respecteront bien plus facilement ce détail. De même, dans le cas d'un mur de fond en MBé, le fait de construire le mur serré contre la structure peut altérer considérablement le comportement du bâtiment lorsqu'il est soumis à des surcharges latérales et, si le concepteur n'a pas prévu la chose, provoquer une défaillance structurale prématurée. Il est donc nécessaire que les entrepreneurs aient des employés bien informés, surtout au niveau de la surveillance des travaux. De plus, il serait plus facile d'obtenir des constructions de meilleure qualité, si la conception et l'exécution des dessins détaillés étaient plus uniformes et si on mettait au point des méthodes de construction standard reconnues.

Étant donné que la conception et la construction sont si étroitement liées, les deux sont présentées ensemble dans le présent document d'orientation. Cependant, les dessins et les notes connexes ont été agencés de façon à pouvoir se concentrer sur les aspects de la construction, sans avoir à se reporter constamment aux données et à la théorie sur lesquelles ceux-ci reposent.

3.2 *EXIGENCES GÉNÉRALES DE CONCEPTION ET DE CONSTRUCTION*

Les règles de calcul des systèmes muraux à placage de brique (PBr) doivent respecter les exigences générales suivantes :

- résistance suffisante pour supporter les charges de calcul;
- rigidité suffisante pour assurer un bon comportement dans des conditions normales d'utilisation;
- durabilité suffisante, y compris la compatibilité des matériaux;
- robustesse suffisante pour ne pas être endommagé dans des conditions normales de construction et d'usage;
- marge suffisante d'hyperstaticité et de résistance pour pouvoir subir des dommages sans s'écrouler complètement;
- dessins suffisamment détaillés des composants du système mural et de leur assemblage pour être certain que le mur se comportera comme prévu; et
- intégration du système mural à la fois avec le comportement de la structure qui le supporte et avec les exigences de la science du bâtiment.

Ces points, dans la mesure où ils s'appliquent aux murs à placage de brique, sont expliqués dans les sections qui suivent.

3.3 *RÉSISTANCE*

Comme illustré dans la figure 3.1, le mur de fond auquel s'accroche un placage de brique doit être conçu non seulement pour porter son propre poids verticalement, mais aussi pour résister aux surcharges latérales hors plan dues au vent, aux vents, aux séismes, et à l'usage prévu du bâtiment. Normalement, le placage et le mur de fond sont conçus avec des joints de dilatation qui permettent le mouvement relatif vertical ou horizontal de la structure, sans transfert de charge en plan au mur de fond ni au placage de brique.

Comme il en sera question plus en détail plus loin, les exigences structurales du placage lui-même sont moins bien définies puisque, par définition, le mur de fond est conçu pour supporter toutes les surcharges latérales. Cependant, le comportement du placage en situation et la comparaison avec le rendement prévu par la science du bâtiment peuvent aider à définir les critères de résistance du PBr, où la présence de fissures peut être considérée comme une défaillance. Comme indiqué dans la figure 3.2, la part de la surcharge latérale que supporte le PBr avant de se fissurer est beaucoup plus grande lorsque le mur de fond est relativement flexible, ce qui est typiquement le cas avec les murs à ossature d'acier (OA).[1,2,3,4,5]

Les attaches et les dispositifs d'ancrage doivent transférer, du placage de brique au mur de fond et à la structure principale, les surcharges latérales. Il existe aussi parfois, pour les autres composants du système mural, des exigences secondaires, telles que la fixation de l'isolant posé sur la face extérieure du mur de fond pour qu'il résiste aux forces de succion. Ces détails de conception seront examinés dans les chapitres 6 et 7.

Examinons brièvement maintenant les aspects particuliers des surcharges qui s'exercent sur les systèmes muraux à PBr.

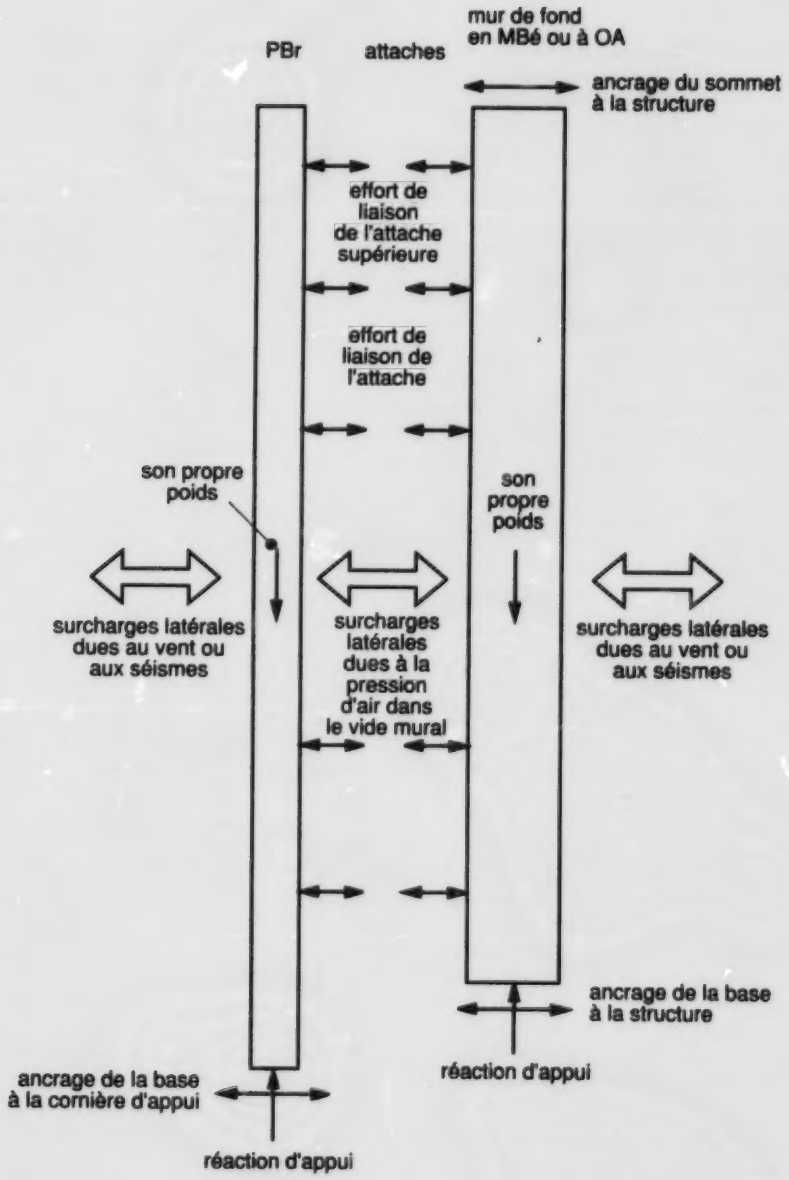


Figure 3.1 Diagramme des efforts qui s'exercent sur un système mural à PBr

SURCHARGES DUES AU VENT

La conception du mur dépend, la plupart du temps, de la pression du vent qui s'exerce perpendiculairement sur le mur. Comme indiqué dans le *Code national du bâtiment*,[6] la pression de calcul du revêtement extérieur dépend de l'endroit où le bâtiment est situé, de son exposition au vent, et des conditions de pression à l'intérieur du bâtiment. En ce qui a trait à ce dernier point, le bris de fenêtres et la défaillance de portes ou d'aérateurs au cours de forts vents provoquent, dans le bâtiment, des surpressions qu'il faut ajouter aux pressions externes positives ou négatives dues au vent.

En ce qui a trait aux surcharges dues au vent, le *Code national du bâtiment du Canada* traite au long de la répartition des pressions sur les faces du bâtiment, et de l'effet combiné des rafales et des conditions d'exposition du bâtiment sur les pressions internes et externes. Cependant, même si l'on sait que les pressions internes s'exercent toujours directement sur le mur de fond parce que c'est là que le pare-air est installé, on n'est pas toujours certain de l'endroit où s'exercent les pressions externes.

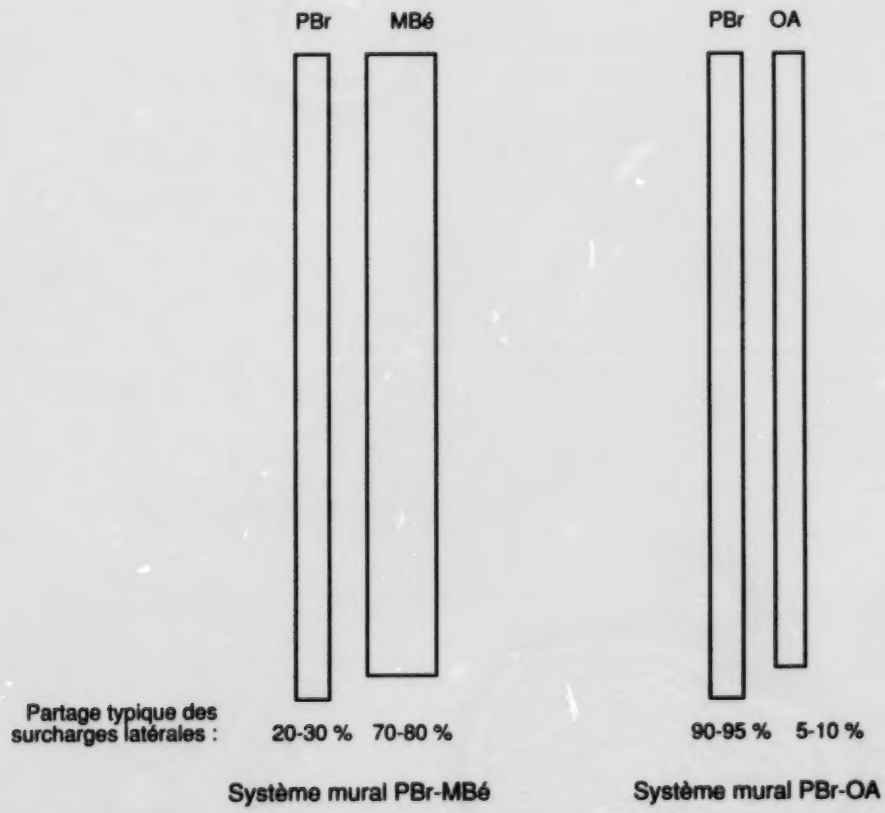


Figure 3.2 Répartition typique des surcharges entre le PBr et le mur de fond, lorsque le PBr n'est pas fissuré

En théorie, le fait d'utiliser le placage comme un écran pare-pluie ouvert signifie que l'air qui passe par les orifices de ventilation et les chantepleures finit par établir dans la lame d'air qui sépare le PBr et le mur de fond la même pression qu'à l'extérieur. Si tel est le cas, comme on le voit dans la figure 3.3, le placage est en équilibre et le mur de fond subit toute la surcharge due au vent. Cependant, même dans ce cas, la rigidité ou la résistance du placage à la flexion a pour effet de renvoyer au placage, par les attaches, une partie de la surcharge due au vent, comme indiqué dans la figure 3.4,[7,8] si le mur de fond a une certaine flexibilité. Comme déjà mentionné, la distribution de la surcharge entre le placage et le mur de fond dépend de la rigidité relative de ceux-ci et de la rigidité des attaches.[9,10,11] Si les attaches sont très rigides, le placage subit à peu près la même flexion que le mur de fond.

En réalité, il se peut qu'il n'y ait pas équilibre parfait de la pression d'air des deux côtés du placage, parce que :

- l'infiltration de l'air à travers le mur de fond brise l'équilibre entre la pression extérieure et la pression dans le vide mural;
- le volume d'air qui passe par les orifices pratiqués dans le placage ne suffit pas pour corriger rapidement le déséquilibre créé par les variations subites de pression dues aux rafales de vent;
- comme illustré dans la figure 3.5, le déplacement de l'air dans le vide mural vers les endroits où la pression n'est pas équilibrée (p. ex. : le vide des murs latéraux, comparé au vide des murs exposés au vent) peut empêcher le passage d'un volume suffisant d'air par les orifices de ventilation et les chantepleures;
- les différences de pression à la surface du mur signifient que la pression d'air dans le vide mural diffère des pressions extérieures sur la presque totalité du mur;
- des orifices de ventilation ou des chantepleures manquent, ou sont partiellement bouchés, ou sont trop petits pour laisser passer suffisamment d'air pour équilibrer la pression d'air dans le vide mural avec la pression extérieure; et
- dans le cas de changements brusques de pression, la flexion du mur de fond peut réduire la pression d'air dans le vide mural.

À l'extrême, presque toute la force de la pression extérieure peut être transmise par le placage. Bien que les analyses indiquent que ceci est le cas le plus critique de surcharge pour les efforts et les moments de flexion maximaux qui s'exercent sur les attaches du placage, tout changement dans la rigidité relative du mur et dans la rigidité et l'emplacement des attaches peut entraîner d'importants changements dans ces efforts internes.

SURCHARGE DUE AUX SÉISMES

Dans les régions sujettes aux séismes et, en particulier, dans les cas où le mur est relativement massif, des forces hors plan proportionnelles à la masse du mur peuvent influencer la conception. Cette surcharge peut être particulièrement critique pour les dispositifs de fixation aux éléments du mur extérieur où le coefficient de force horizontale, Sp, est 11 selon le CNB de 1985. Dépendant de la valeur du rapport entre la vitesse de la zone, v, et le poids du mur, Wp, la force latérale, Vp = v Sp Wp, peut être très grande. Le graphique et les calculs qui illustrent cet effet sur un placage de brique de 3 m de haut sont représentés dans la figure 3.6.

En plus de la méthode qui consiste à calculer les systèmes de mur à placage de brique en fonction de leur résistance aux secousses sismiques, toute bonne méthode de conception technique doit aussi tenir compte du comportement du mur, advenant qu'il soit endommagé, et de sa résistance générale à l'écroulement complet dans ces circonstances.

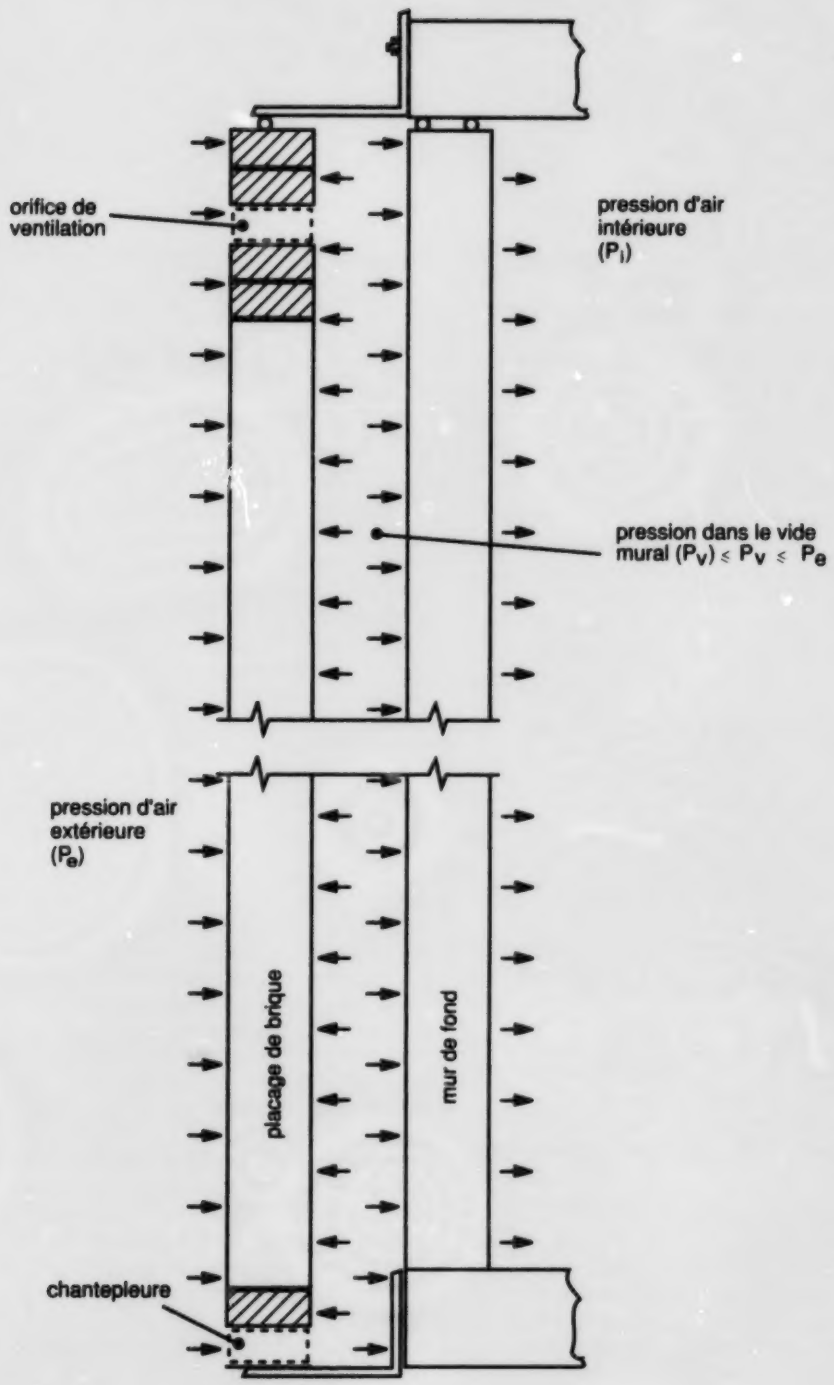


Figure 3.3 Répartition des surcharges dues au vent sur le placage de brique et le mur de fond, dans le cas où la pression atmosphérique s'exerce librement dans le vide mural

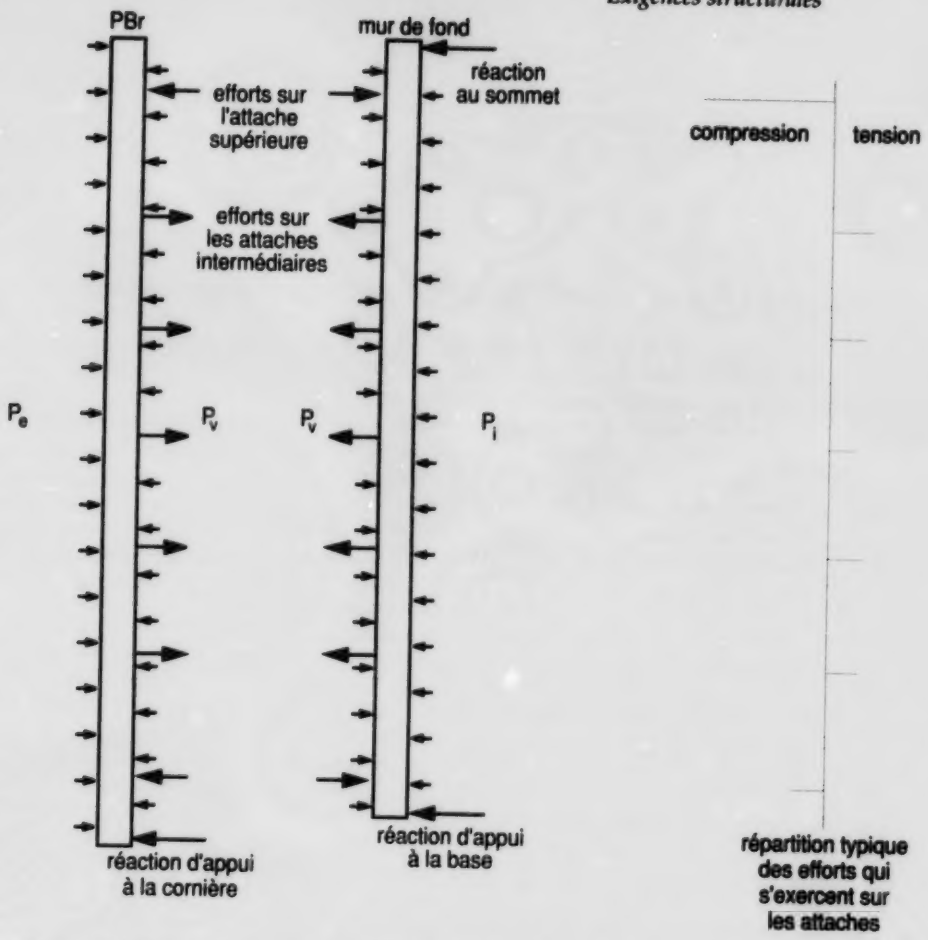


Figure 3.4 Renvoi des surcharges au PBr par les efforts qui s'exercent sur les attaches

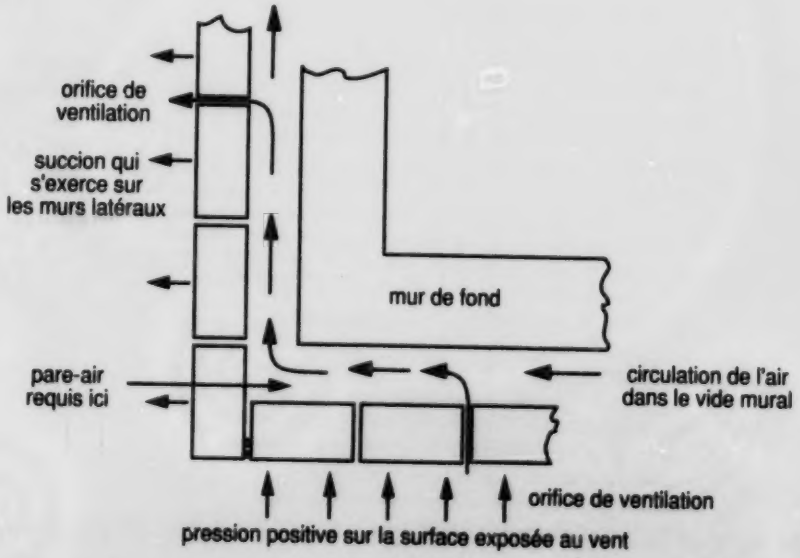


Figure 3.5 Manque d'équilibre entre la pression d'air à l'extérieur et la pression dans le vide mural à cause du mouvement de l'air dans la vide mural

AUTRES SURCHARGES

Les surcharges dues à l'usage qui s'exercent sur le mur n'influent pas, normalement, sur les règles de calcul générales. Il se peut toutefois qu'il faille prêter une attention particulière à certaines situations, telles que la présence de charges inhabituellement lourdes reposant en porte-à-faux sur le mur, ou la possibilité que des surcharges dues aux chocs se produisent.

3.4 UTILISATION

Les exigences de calcul en ce qui a trait à l'utilisation sont étroitement reliées aux nombreux aspects de la conception selon la science du bâtiment, dont il sera question dans la chapitre 8. Toutefois, une définition claire des critères acceptables, établie explicitement ou à l'aide de limites arbitraires, fait généralement défaut. Par exemple, dans quelle mesure peut-on permettre que le placage de brique soit fissuré?

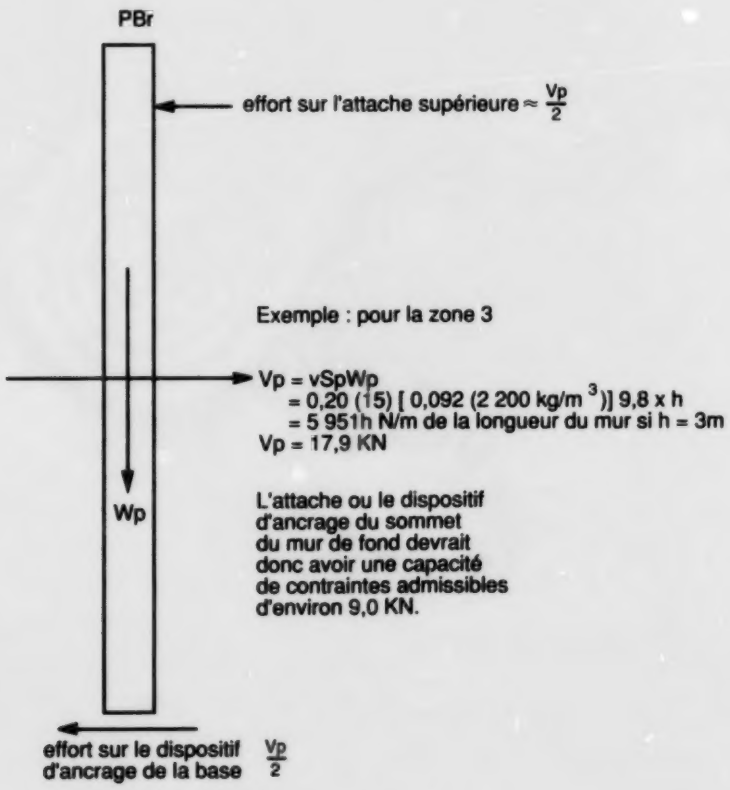


Figure 3.6 Exemple de calcul de la force requise des dispositifs de fixation pour résister aux surcharges dues aux séismes

Généralement, la rigidité structurale est l'élément principal qui intervient dans les aspects reliés à l'utilisation du bâtiment, lorsque les flexions, les vibrations et les autres mouvements ont leurs propres limites et peuvent aussi nuire à l'interaction et à l'intégrité des composants du mur.

Bien qu'on ait considéré que la méthode de calcul de la maçonnerie basée sur les contraintes admissibles assurait une utilisation satisfaisante de la maçonnerie dans des conditions de charges non pondérées, l'incorporation de la maçonnerie (placage de brique) avec d'autres systèmes structuraux (poteaux d'acier) a fait ressortir la nécessité d'établir des critères raisonnables d'utilisation de la maçonnerie. De façon concrète, il a été prouvé que, bien que le placage de brique puisse laisser passer l'eau de pluie, un placage de brique fissuré en laisse passer encore bien plus;[12,13] la quantité d'eau qui s'infiltre est directement proportionnelle à la largeur des fissures.

Étant donné que le placage de brique supporté par un mur de fond plus rigide (maçonnerie de béton) peut aussi se fissurer sous l'effet de causes autres que les surcharges latérales, l'importance et les conséquences éventuelles des infiltrations d'eau de pluie demeurent une question de probabilité. À l'heure actuelle, cependant, nous ne possédons pas suffisamment de données pour procéder à une analyse des probabilités. Les recommandations relatives aux murs de fond en MBé ou à OA sont donc, pour le moment, une tentative quelque peu arbitraire de justifier l'incorporation de cette considération dans la conception.

3.5 *DURABILITÉ*

Un aspect clé des règles de calcul consiste à donner l'assurance que les composants du bâtiment retiendront des caractéristiques raisonnablement semblables à leurs propriétés originales. Cela signifie que la résistance et la rigidité initiales ne devraient pas se détériorer pendant la durée de vie de la structure; sinon, la conception doit tenir compte des changements prévus. Les effets qu'il importe de considérer comprennent, entre autres, la fatigue ou les surcharges répétées, le relâchement général des composants, la corrosion, les dommages dus au gel/dégel, et la présence d'eau. En plus d'évaluer les effets possibles de ces divers changements sur le comportement de la structure, il serait important de se pencher sur l'interaction de ces changements et des exigences de calcul de la science du bâtiment. Ce point sera abordé au chapitre 8.

Pour certains aspects tels que la corrosion, il faut reconnaître que les facteurs climatiques et géographiques peuvent entraîner de grandes différences dans les risques de corrosion. Dans certains secteurs industriels, les pluies sont légèrement acides, alors qu'à d'autres endroits, comme le long des côtes de l'Atlantique, les pluies chargées de sel sont souvent poussées par des vents violents, ce qui peut aggraver les infiltrations d'eau. Selon des données récentes, les murs de bâtiments construits à proximité des grandes routes enregistrent des teneurs accrues en sel, en raison de l'épandage de produits de déverglaçage pendant la saison froide. L'examen de ces facteurs ainsi que de la durée de vie prévue ou probable de la structure peut montrer qu'il est inacceptable de permettre la détérioration graduelle du bâtiment et que, dans le cas présent, l'utilisation de composants inoxydables (les attaches, par exemple), au lieu de composants qui résistent simplement à la corrosion, peut être une mesure essentielle pour assurer la sécurité à long terme du système mural.

Assez souvent, une attention spéciale à un détail particulier d'un composant ou à une façon de l'améliorer est tout ce qu'il faut pour accroître de façon appréciable la durée de vie utile du système mural. Par contre, les coûts de réparation ou de remplacement de composants détériorés sont habituellement bien supérieurs à l'augmentation de coût qu'il aurait fallu assumer si l'on avait choisi un composant plus durable dès le début.

3.6 *ROBUSTESSE ET HYPERSTATICITÉ*

Les règles de calcul des composants du mur doivent prévoir des méthodes de construction relativement simples, qui permettent, par conséquent, une bonne exécution des travaux sur le terrain. Elles doivent prévoir une robustesse suffisante pour que l'exécution des travaux et l'utilisation normale du bâtiment par la suite n'endommagent aucun des composants ni ne réduisent de façon appréciable leur aptitude à remplir leurs fonctions. Elle doit en outre prévoir une robustesse et un degré d'hyperstaticité qui permettent au système mural de subir certains dommages sans s'écrouler complètement.

Pour inclure la robustesse ou l'hyperstaticité dans sa conception du système mural, le concepteur doit s'assurer que la défaillance d'un seul composant n'en provoquera pas l'écroulement. Il peut aussi, habituellement, inclure un certain degré de ductilité ou d'autres moyens de transfert des charges, à un coût minime et même, souvent, à aucun coût. On trouvera dans la figure 3.7 des exemples de robustesse et d'hyperstaticité.

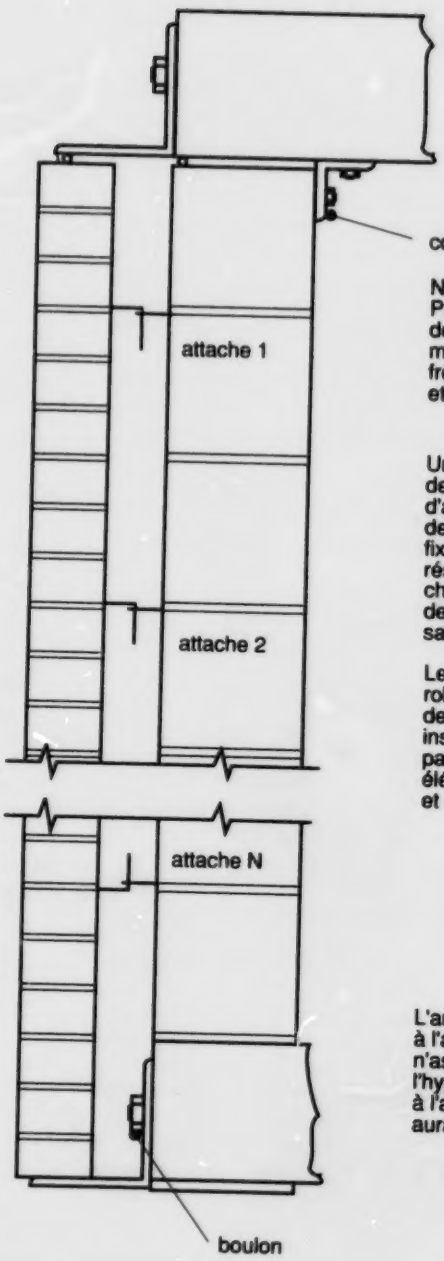
3.7 *IMPORTANCE DES DÉTAILS*

Nous tenons à mentionner à part l'importance de préciser les détails, parce que l'aptitude d'une conception à répondre aux exigences structurales dépend souvent autant de la façon de fixer, de joindre ou de supporter les composants d'une construction que de la nature même de ces composants. Par exemple, comme nous le verrons plus loin, la cornière d'appui du placage peut être tout à fait appropriée structuralement parlant, mais totalement inefficiente si la conception ne tient pas compte de la nécessité qui existe parfois de pouvoir en modifier légèrement la position.

Ainsi, les détails doivent être explicitement pensés dans leurs rapports avec toutes les fonctions connexes; ils doivent être dessinés clairement et expliqués dans le cahier des charges, tout en étant assez simples pour que les ouvriers de la construction puissent s'y conformer.

3.8 *APPROBATIONS*

De nombreux matériaux et composants sont utilisés dans la construction des murs à placage, que le mur de fond soit en MBé ou à OA. Or, il n'est pas rare que les constructeurs remplacent des matériaux prévus (p. ex. : les attaches et les dispositifs d'ancrage) par d'autres matériaux, soit parce qu'ils ne peuvent les trouver sur le marché et que ceux qu'ils choisissent semblent équivalents, soit parce que les matériaux de substitution coûtent moins cher. Il est indispensable que ces substitutions soient approuvées par le concepteur.



Bien que l'attache 1 puisse suffire pour résister aux charges appliquées, l'ajout des attaches 2 à N donne au placage l'hyperstaticité qui, en plus d'assurer une répartition plus uniforme des charges, a pour effet de réduire les risques et les conséquences de la défaillance de l'une ou l'autre attache.

Dans le cas où un placage endommagé aurait tendance à se détacher complètement, les attaches 1 et 2 lui assurent une certaine robustesse en retenant leur capacité de résister aux charges, tandis que l'attache N aurait plutôt tendance à se désengager et à ne contribuer aucunement à la robustesse de la construction. Une attache qui ne peut pas se désengager, même en cas de mouvement extrême du placage, serait préférable.

cornière de fixation fendue

Note :
Par sa forme même, la cornière de fixation doit permettre le mouvement différentiel, non freiné, entre la dalle de plancher et le mur de maçonnerie.

Un nombre suffisant de cornières de fixation doit être utilisé, afin d'assurer une suite surabondante de points d'appui. Leur mode de fixation doit leur permettre de résister aux assauts répétés des charges, des mouvements et des forces environnementales, sans se détériorer.

Les attaches doivent être assez robustes pour résister aux aléas de leur manutention et de leur installation au cours de la construction, par exemple lorsque les rangs des éléments de maçonnerie du placage et du mur de fond ne correspondent pas.

L'ancrage d'une section de cornière à l'aide de deux boulons seulement n'assure pas la robustesse et l'hyperstaticité du placage; un ancrage à l'aide de trois boulons (au moins) aurait ces deux effets.

Figure 3.7 Exemples de robustesse et d'hyperstaticité

Trop souvent, le système d'ossature en acier du mur de fond est simplement choisi d'après la documentation du fabricant et traité à peu près de la même façon qu'une cloison intérieure en acier. Les matériaux ainsi choisis sur la foi de publications commerciales doivent être vérifiés et approuvés par le concepteur, qui saura dire s'ils pourront assurer les qualités structurales que doivent avoir le mur de fond et les attaches. Toute modification, jugée nécessaire au cours de la construction, des détails précisés dans le cahier des charges doit aussi être approuvée par le concepteur.

3.9 *DESSINS D'ATELIER, ÉCHANTILLONS ET CALCULS*

La construction d'un mur de fond à OA nécessite la production de dessins d'atelier.[14] De même, les dispositifs d'ancrage, les joints et les ouvertures dans le mur de fond en MBé doivent être dessinés en détail. Ces dessins doivent comprendre tous les détails nécessaires à l'assemblage et à la mise en place des composants, y compris l'installation des fenêtres et des autres éléments qui se fixent au mur. Normalement, le concepteur chargé de préparer les dessins d'atelier fait lui-même les inspections qui s'imposent (*voir* section 3.11).

MUR DE FOND EN MBé

Bien que les entrepreneurs aient beaucoup d'expérience avec les murs de fond en MBé, cela ne diminue en rien la nécessité des calculs, des dessins et de la surveillance. Le manque de sérieux dans la conception et dans la préparation des dessins détaillés ont été, dans le passé, à l'origine du piètre comportement de certains murs de fond et même, dans certains cas, de sérieux dommages à la structure. Voici quelques-uns des points auxquels il faut prêter une attention particulière : prévoir des joints de dilatation, s'assurer que la poutre ou la dalle qui supporte le mur de fond soit suffisamment raide, laisser un jeu suffisant pour les ouvertures, et choisir les attaches et les dispositifs d'ancrage appropriés.

C'est peut-être parce qu'il n'a pas reconnu l'importance structurale du mur de fond que le monde de la construction a eu tendance à adopter des conceptions standard héritées du passé ou adaptées aux dispositions empiriques du chapitre 6 de la norme CAN3-S304-M84 de l'ACNOR[15] ou de la Partie 9 du CNB.[16] Les concepteurs doivent reconnaître que l'utilisation de ces dispositions comporte des limites et que des calculs techniques complets sont souvent nécessaires. Cette question est traitée plus en détail dans le chapitre 6.

MUR DE FOND À OA

Pour la construction d'un mur de fond à OA, le concepteur doit fournir les dessins détaillés des dispositifs d'assemblage et d'ancrage, du contreventement et de l'entretoisement, des entures, et des baies de porte et fenêtre. Les dimensions et l'épaisseur de tous les éléments, les dimensions des dispositifs de fixation et les diverses autres dimensions, y compris les tolérances, doivent être clairement indiquées. Le concepteur doit aussi fournir les tableaux des charges de calcul. La publication de l'ICTAB, *Lightweight Steel Framing Manual* (ICTAB 50M-1987),[17] donne encore plus de renseignements sur le sujet des dessins et des détails.

Une très grande variété de matériaux et de composants peuvent entrer dans la construction d'un système mural PBr-OA. Il est important que des échantillons des matériaux en cause, y compris les dispositifs de fixation et les vis, soient présentés au concepteur pour qu'il puisse les examiner et y faire référence.

Si l'architecte ou l'ingénier du projet n'est pas le concepteur du système mural à OA, les dessins d'exécution de l'entrepreneur doivent être accompagnés de calculs techniques et d'autres données permettant de s'assurer que le système a été bien conçu. Ces aspects sont examinés plus en détail dans le chapitre 7.

3.10 MANUTENTION ET ENTREPOSAGE DES MATÉRIAUX

Le cahier des charges et la planification des travaux doivent prévoir l'entreposage et la protection des matériaux sur le chantier. Lorsqu'un élément de construction fabriqué, tel que du mortier, est préparé sur le chantier, il est indispensable de protéger des intempéries ses composants et le produit fini. De même, les moyens utilisés pour la manutention des matériaux fabriqués doivent réduire au minimum les risques de dommage.

Tous les matériaux destinés au travail de maçonnerie sur le chantier, tels que les éléments en béton, le sable, la chaux et le ciment, doivent être protégés contre l'eau avant leur utilisation, en étant entreposés sur des plate-formes et recouverts de bâches ou de feuilles de plastique. En hiver, le sable doit être entassé d'une façon qui permette de le chauffer, s'il y a lieu. Les éléments d'armature en acier, les attaches et autres dispositifs d'ancrage doivent être protégés contre l'huile, les saletés et la rouille abondante qui pourraient nuire à leur liaison avec les autres matériaux. Les attaches doivent être manipulées avec soin afin de ne pas les endommager.

Les poteaux d'acier doivent être entreposés à l'intérieur, dans leur emballage ou contenant, jusqu'au moment de leur installation. Étant donné qu'ils sont de section plutôt faible, ils peuvent facilement être pliés, cabossés ou tordus; il faut donc les manipuler avec soin. Si les panneaux d'ossature sont d'abord assemblés sur le plancher, il se peut qu'il soit nécessaire, pour les mettre en place, de les relever en les tenant à deux endroits ou plus, selon la longueur du panneau.

3.11 INSPECTIONS

L'expérience enseigne qu'il est généralement mieux que le concepteur du système mural à placage de brique soit lui-même chargé de son inspection. Dans le cadre du processus de conception, les concepteurs doivent prévoir leur disponibilité pour l'inspection. La personne responsable de l'inspection doit être clairement désignée dans les documents du contrat; si cette responsabilité est confiée à quelqu'un d'autre que le concepteur, il est indispensable que cette personne ait une connaissance approfondie et une expérience prouvée de ce type de construction.

Le cahier des charges ou les autres documents contractuels doivent également préciser l'échéancier des inspections et les étapes de construction où l'entrepreneur doit donner un avis d'achèvement de certains travaux, avant de fermer les parties terminées ou de les couvrir d'une façon ou d'une autre. Ces échéanciers doivent être établis d'après les étapes des travaux plutôt que d'après des périodes de temps fixes. Trop souvent, les inspections effectuées à des moments fixes ou au hasard ne permettent pas d'assurer la qualité de la construction.

3.12 RÉSUMÉ

Le présent chapitre constitue une introduction générale aux règles de calcul des systèmes muraux à PBr expliquées dans la partie 2. Le chapitre 4 traite exclusivement des exigences de calcul des joints de dilatation, afin d'en souligner l'importance. Le fait de ne pas prêter suffisamment attention à cet aspect de la conception a entraîné de sérieux problèmes dans nombre de bâtiments existants. Cette situation a créé des conditions dangereuses pour les occupants et nécessité éventuellement des réparations très coûteuses.

Les aspects de la conception communs aux composants structuraux de tous les systèmes muraux à PBr sont présentés dans le chapitre 5; les chapitres 6 et 7 sont consacrés aux caractéristiques particulières au mur de fond en MBé ou à OA respectivement. Étant donné que l'interaction du comportement réel de la structure et du comportement prévu selon la science du bâtiment est inévitable, le texte renvoie aux sections appropriées de la partie 3, dans la mesure du possible.

RÉFÉRENCES

1 Arumala, J. O. et R. H. Brown, *Performance Evaluation of Brick Veneer with Steel Stud Backup*, Dept. of Civil Engineering, Clemson University, Clemson S. C., 23 avril 1982.

2 Brooks, M. S., *Masonry Veneer With Steel Stud Backup*, M. Eng. Project Report, McMaster University, Hamilton, Ontario, avril 1985, 112 pages.

3 Drysdale, R. G. et N. Breton, *A Report on Strength and Stiffness Characteristics of Steel Stud Backup Walls Designed to Support Brick Veneer*, Rapport présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, mars 1989.

4 Drysdale, R. G. et S. Chidiac, *Defining Better Wall Systems*, Rapport présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, mai 1989.

5 Zakrzewski, A. S., *Masonry Veneer in Highrise Buildings*, Rapport présenté à la Société canadienne d'hypothèques et de logement par Proen Consultants, Willowdale, Ontario, 1987.

6 Conseil national de recherches, *Code national du bâtiment du Canada 1985*, Comité associé du Code national du bâtiment, Ottawa, 1985.

7 Drysdale, R. G. et N. Breton, *A Report on Strength and Stiffness Characteristics of Steel Stud Backup Walls Designed to Support Brick Veneer*, Rapport présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, mars 1989.

8 Drysdale, R. G. et M. J. Wilson, *A Report on Lateral Load and Rain Penetration Tests of Full Scale Brick Veneer/Steel Stud Walls*, Rapport présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, juillet 1990.

9 Arumala, J. O. et R. H. Brown, *Performance Evaluation of Brick Veneer with Steel Stud Backup*, Dept. of Civil Engineering, Clemson University, Clemson S. C., 23 avril 1982.

10 McGinley, W. M., J. Warwaruk, J. Longworth et M. A. Hatzinikolas, *The Interaction of Brick Veneer and Steel Studs in Curtain Wall Construction*, Structural Engineering Report 127, Department of Civil Engineering, University of Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alberta, 1985.

11 Yu, W.W., *Cold-Formed Steel Design*, John Wiley and Sons, juin 1985.

12 Drysdale, R. G. et M. J. Wilson, *A Report on Lateral Load and Rain Penetration Tests of Full Scale Brick Veneer/Steel Stud Walls*, Rapport présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, juillet 1990.

13 Grimm, C. T., *Water Permeance of Masonry Walls : A Review of the Literature*, Masonry : Materials Properties and Performance, ASTM STP778, 1982, pp. 178-199.

14 Institut canadien de la tôle d'acier pour le bâtiment, *Lightweight Steel Framing Manual*, ICTAB 50V-1987, août 1987, 23 pages.

15 Association canadienne de normalisation, CAN3-S304-M84, *Calcul de la maçonnerie pour les bâtiments*, ACNOR, Rexdale, 1984, 69 pages.

16 Conseil national de recherches, *Code national du bâtiment du Canada 1985*, Comité associé du Code national du bâtiment, Ottawa, 1985.

17 Institut canadien de la tôle d'acier pour le bâtiment, *Lightweight Steel Framing Manual*, ICTAB 50V-1987, août 1987, 23 pages.

CHAPITRE 4

JOINTS DE DILATATION

4.1 GÉNÉRALITÉS

Toute une gamme de matériaux sont utilisés pour la construction des systèmes muraux à placage et de la structure principale. Ces matériaux, tels que la brique, le bloc de béton, le béton et l'acier, possèdent des caractéristiques de déformation différentes, soit sous l'effet des charges, soit sous l'effet des variations thermiques et hygrométriques. De plus, les divers composants du système mural à placage et de la structure principale sont soumis à des conditions de charge, de chaleur et d'humidité différentes. Les mouvements différentiels qui en résultent peuvent causer des fissures dans le placage, ainsi que l'épaufrure des briques et même l'écroulement de panneaux de placage complets, à moins que des joints de dilatation soient ménagés à des endroits stratégiques dans le but de prévenir la formation de contraintes dans le PBr.

On utilise aussi bien les briques d'argile que les briques de béton pour la construction du placage. Mais, comme les mouvements différentiels entre le placage et la structure sont plus importants et, par conséquent, plus critiques dans le cas des briques d'argile, principalement à cause de l'expansion hygrométrique des briques d'argile, les considérations qui suivent au sujet des joints de dilatation s'appliquent aux placages faits de maçonnerie en briques d'argile. (Il importe de noter que les placages faits de briques de béton peuvent aussi se contracter et se fissurer, surtout si on n'a pas prévu de joints de retrait.)

4.2 DÉFORMATION DES MATÉRIAUX ET MOUVEMENTS DU BÂTIMENT

Les paragraphes qui suivent traitent des principales déformations des matériaux et des mouvements qu'ils provoquent dans le bâtiment.

DÉFORMATION ÉLASTIQUE

Tout matériau qui porte une charge raccourcit ou s'allonge, selon qu'il est en compression ou en tension. Au moment où la charge est imposée, la déformation est pratiquement proportionnelle à la charge et on l'appelle déformation élastique. Un béton d'une force de 20 MPa, par exemple, qui supporte en compression une charge de 8 MPa raccourcit d'environ 0,4 mm/m (0,04 p. 100). Étant plus rigide, l'acier devrait avoir une charge dix fois supérieure pour produire la même contrainte; toutefois, comme il est normalement soumis à des efforts plus considérables, la déformation finale est à peu près la même que dans le cas précédent.

DÉFORMATION À LONG TERME

Sous l'effet d'une charge constante, certains matériaux subissent une autre déformation avec le temps, en plus de la déformation élastique initiale. La meilleure façon de décrire cette déformation additionnelle, appelée fluage, consiste à la comparer à un écoulement plastique. Le béton est remarquable à ce point de vue, puisque son fluage peut être de 1,5 à 2 fois la déformation élastique initiale. Le fluage progresse à un rythme décroissant avec le temps; la plus grande partie a lieu au cours des deux ou trois premières années. L'acier ne subit pas de fluage notable sous l'effet des charges normales en situation.

MOUVEMENTS CAUSÉS PAR L'HUMIDITÉ

La plupart des matériaux de construction poreux absorbent de l'humidité au contact de l'eau, et même au simple contact de l'air, si la température du matériel est inférieure au point de condensation (point de rosée) qui correspond à l'humidité relative de l'air ambiant. Lorsqu'il y a inversion des conditions, il y a séchage. Le béton se dilate ou se contracte à mesure que sa teneur en humidité change; mais, pour des raisons que nous n'expliquerons pas ici, le résultat net à long terme est un retrait causé par le séchage, si les conditions atmosphériques sont normales. Le retrait des blocs de béton peut être de 0,3 à 0,6 mm/m (0,03 à 0,06 p. 100), selon le type de mortier, l'âge des blocs au moment de leur mise en place, la façon de les sécher à l'origine (à la vapeur à basse pression ou en autoclave), leur mode d'entreposage et leur composition.

Les briques d'argile, par contre, subissent une dilatation nette, après cuisson, lorsqu'elles approchent du même taux d'humidité que l'air ambiant. Comme ceci exige un certain temps, la dilatation qui se produit dans le mur dépend en partie de l'âge des briques au moment de leur mise en place. La dilatation des briques d'argile sous l'effet de l'humidité n'est pas encore bien définie dans le cas des briques fabriquées au Canada, mais on croit qu'elle est de 0,2 mm/m (0,02 p. 100) en moyenne.

MOUVEMENTS DUS AUX VARIATIONS THERMIQUES

Les matériaux se dilatent lorsque la température s'élève et se contractent lorsqu'elle baisse. Dans l'éventail des températures que nous connaissons normalement, les matériaux de construction courants subissent des changements dimensionnels passablement constants avec les variations de température. Lorsque la température change de 1 °C, le changement dimensionnel est d'environ 0,012 mm/m dans le cas de l'acier et d'environ 0,011 mm/m dans le cas d'un béton de densité normale. Les valeurs typiques équivalentes sont 0,010 mm/m pour la maçonnerie de blocs de béton de densité normale, de 0,008 mm/m pour la maçonnerie de blocs de béton léger et de 0,006 mm/m pour la maçonnerie de briques d'argile.

Dans les conditions climatiques du Canada, l'éventail des variations de température de l'enveloppe extérieure d'un bâtiment est large. Un placage de briques sombres orienté ouest-sud-ouest peut atteindre une température de 65 °C en été, alors que la température du même placage peut descendre à -25 °C en hiver, ou même moins selon l'emplacement géographique. Si l'on suppose que la température était de 20 °C au moment de la construction, la température du placage de brique peut varier de 45 °C, en plus ou en moins, au cours de l'année. Le mouvement maximal que les variations thermiques peuvent provoquer dans un placage typique de 3 m de haut est donc d'un peu moins de 1 mm en contraction ou en dilatation.

MOUVEMENT TOTAL DANS UN PLACAGE DE BRIQUES D'ARGILE

La dilatation ou la contraction maximale non freinée d'un placage de briques d'argile sous l'effet des changements de température et d'humidité peuvent se calculer par la formule suivante :

$\Delta L = [0,2 + 0,006 (T_e - T_r)]L$, (Équation 4.1) où

ΔL = la dilatation ou la contraction totale (celle-ci négative), en millimètres (mm);

T_e = la température maximale ou minimale, en °C;

T_r = la température de référence du placage, en °C;

L = la longueur du placage, en mètres (m);

Dans cette formule, 0,2 et 0,006 correspondent aux valeurs typiques, respectivement, des coefficients de dilatation hygrométrique et de dilatation thermique de la brique d'argile. En utilisant cette formule, le concepteur doit ajuster les valeurs de ces coefficient lorsque les propriétés d'un matériau diffèrent sensiblement des valeurs typiques.

Il importe de noter que la température du placage, T_r, peut varier considérablement au moment de la construction, selon le temps de l'année. Par exemple, un placage de 10 m de long construit en été, dans des conditions d'ensoleillement et de température moyenne (T_r) du placage d'environ 40 °C, subit une dilatation maximale d'environ 4 mm, si la température extrême (T_e) du placage est de 65 °C en été, et une contraction maximale d'environ 2 mm si la température extrême (T_e) du placage est de -25 °C en hiver. Par contre, le même placage construit en hiver, alors que sa température moyenne (T_r) est d'environ 5 °C, subit une dilation maximale d'environ 6 mm et une contraction maximale presque nulle, en supposant les mêmes températures extrêmes du placage en été et en hiver.

Les valeurs des mouvements indiquées précédemment visent à donner une idée approximative de leur ampleur. Un calcul précis nécessiterait davantage de données. Les changements en longueur peuvent paraître bien petits, mais sur de grandes longueurs, ils peuvent être importants. Par exemple, un mur en blocs de béton non freiné de 30 m de long raccourcirait d'environ 10 mm sous l'effet du retrait. Les autres mouvements sont du même ordre de grandeur. Les mouvements peuvent s'additionner ou se manifester en sens opposés, s'annulant ainsi partiellement. Par exemple, les mouvements hygrométriques et thermiques peuvent se produire dans le même sens ou en sens opposés. En général, ce sont les mouvements freinés et les mouvements différentiels entre éléments assemblés qui sont à l'origine de problèmes.

4.3 *LARGEUR DES JOINTS DE DILATATION DANS UN PLACAGE DE BRIQUES D'ARGILE*

La largeur requise pour les joints de dilatation verticaux dépend principalement de la dilatation ou de la contraction maximale qui peut se produire dans un panneau donné du placage, ainsi que des propriétés du produit d'étanchéité et du matériau de support utilisés pour rendre le joint étanche.[1,2] La dilatation ou la contraction maximale du placage par rapport à sa position au moment de l'application du produit d'étanchéité dépend de la température du placage pendant l'application du produit d'étanchéité et de l'intervalle qui s'est écoulé entre la construction du placage et l'application du produit d'étanchéité. Au moment où le produit d'étanchéité est appliqué, une partie de la dilatation de la brique sous l'effet de l'humidité s'est déjà produite, mais on n'en tient pas compte dans l'exemple qui suit.

Lorsque la température est de 20 °C au moment de l'installation du produit d'étanchéité, la dilatation maximale d'un placage de 10 m de long est de 4,7 mm, alors que la contraction est de 2,7 mm avant sa dilatation sous l'effet de l'humidité. Par contre, si le produit d'étanchéité est appliqué lorsque la température du placage est de 5 °C, la dilatation maximale est de 5,6 mm et la contraction maximale est de 1,8 mm avant la dilatation de la brique sous l'effet de l'humidité. La largeur du joint est établie en fonction de la plus grande valeur arithmétique de la dilatation ou de la contraction. C'est pourquoi, pour qu'un joint soit le moins large possible, le produit d'étanchéité doit être appliqué lorsque la température du placage se situe à peu près à mi-chemin entre les extrêmes.

L'élasticité des divers produits d'étanchéité qui existent sur le marché varie grandement. En général, plus l'élasticité est grande, plus le joint requis est étroit. La largeur du joint peut se calculer par la formule suivante :

$$j = \frac{\Delta Lmax \times 100}{d} \quad \text{(Équation 4.2)}$$

où j = la largeur de joint requise à la température d'installation du produit d'étanchéité, en mm;

ΔLmax = la plus grande valeur arithmétique de la dilatation et de la contraction maximales non freinées du segment de placage, à la température d'installation du produit d'étanchéité, en mm;

d = la déformabilité cyclique du produit d'étanchéité, en pourcentage.

Les produits d'étanchéité largement utilisés sur les ouvrages de maçonnerie sont des silicones et des polyuréthannes, dont la déformabilité cyclique est d'environ ±25 p. 100. Si un produit d'étanchéité de ce genre est appliqué lorsque la température du placage est de 20 °C, la largeur des joints de dilatation pratiqués à tous les 10 m doit être de 19 mm; si la température du placage est de 5 °C au moment de l'application, la largeur doit être de 22 mm.

La largeur des joints déterminée conformément à l'équation 4.2 présuppose des mouvements non freinés. En pratique, les mouvements du placage ne peuvent pas se produire en absolue liberté, parce que les supports du placage, les attaches et d'autres éléments leur opposent une certaine résistance. De plus, comme mentionné précédemment, certains mouvements ont déjà eu lieu avant l'installation du produit d'étanchéité, ce qui veut dire que les largeurs de joint susmentionnées sont des maximums. Par ailleurs, les tolérances de construction normales peuvent rendre le joint qui a été pratiqué un peu plus étroit ou un peu plus large que prévu dans les plans.

4.4 *JOINTS HORIZONTAUX POUR MOUVEMENTS VERTICAUX*

Bien qu'il soit facile de construire un placage de maçonnerie en un seul panneau vertical continu, directement sur le mur de fondation, ceci n'est généralement faisable que dans le cas des bâtiments de faible hauteur. Pour les bâtiments de grande hauteur, les mouvements différentiels entre le placage et le mur de fond deviennent si importants qu'ils risquent de provoquer la détérioration du placage; la solution consiste alors à pratiquer, dans le placage, des joints horizontaux qui le divisent en plusieurs panneaux de faible hauteur, dont chacun ne présente que de légers mouvements différentiels.[3,4,5,6] Comme illustré dans la figure 4.1, l'ossature de béton d'un bâtiment de dix étages peut normalement se contracter de 15 mm sous l'effet combiné de la déformation élastique, du fluage et du retrait. Or, le placage de briques d'argile peut normalement se dilater d'environ 15 mm sous l'effet des variations hygrométriques et thermiques.

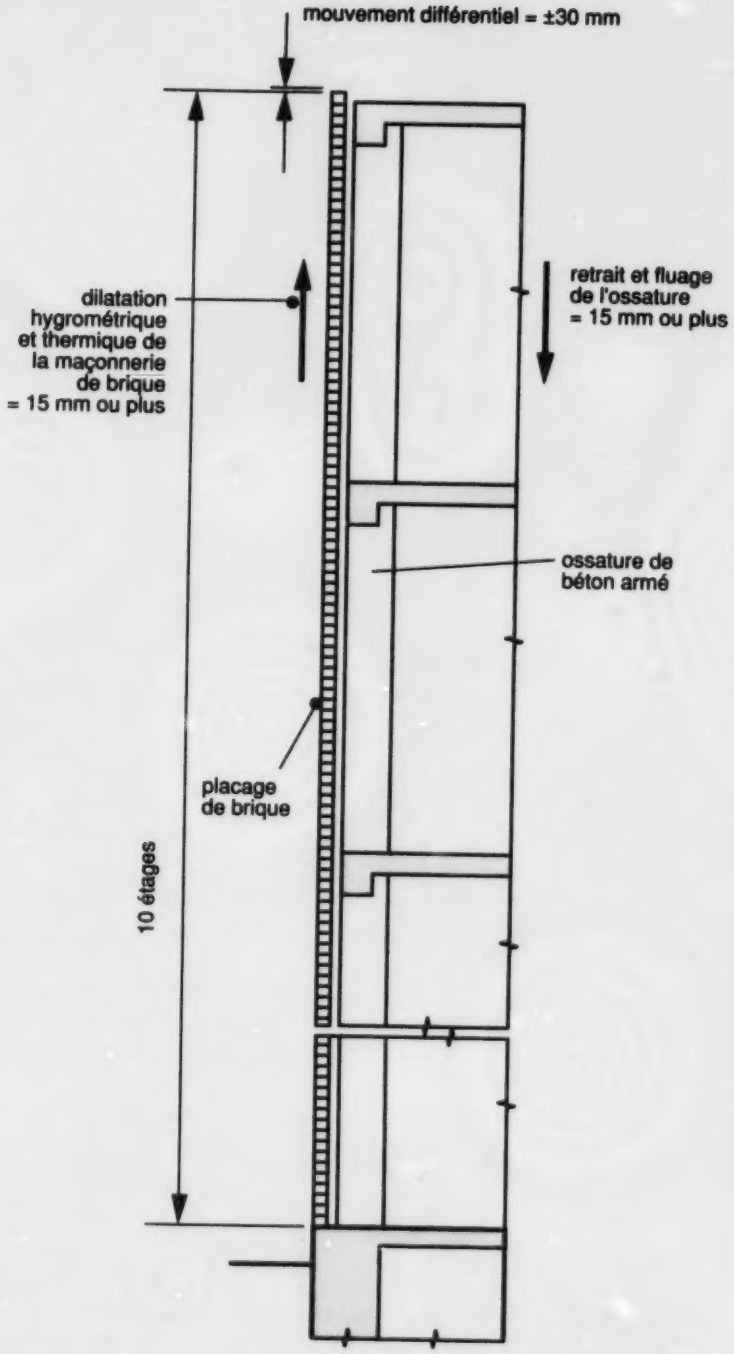


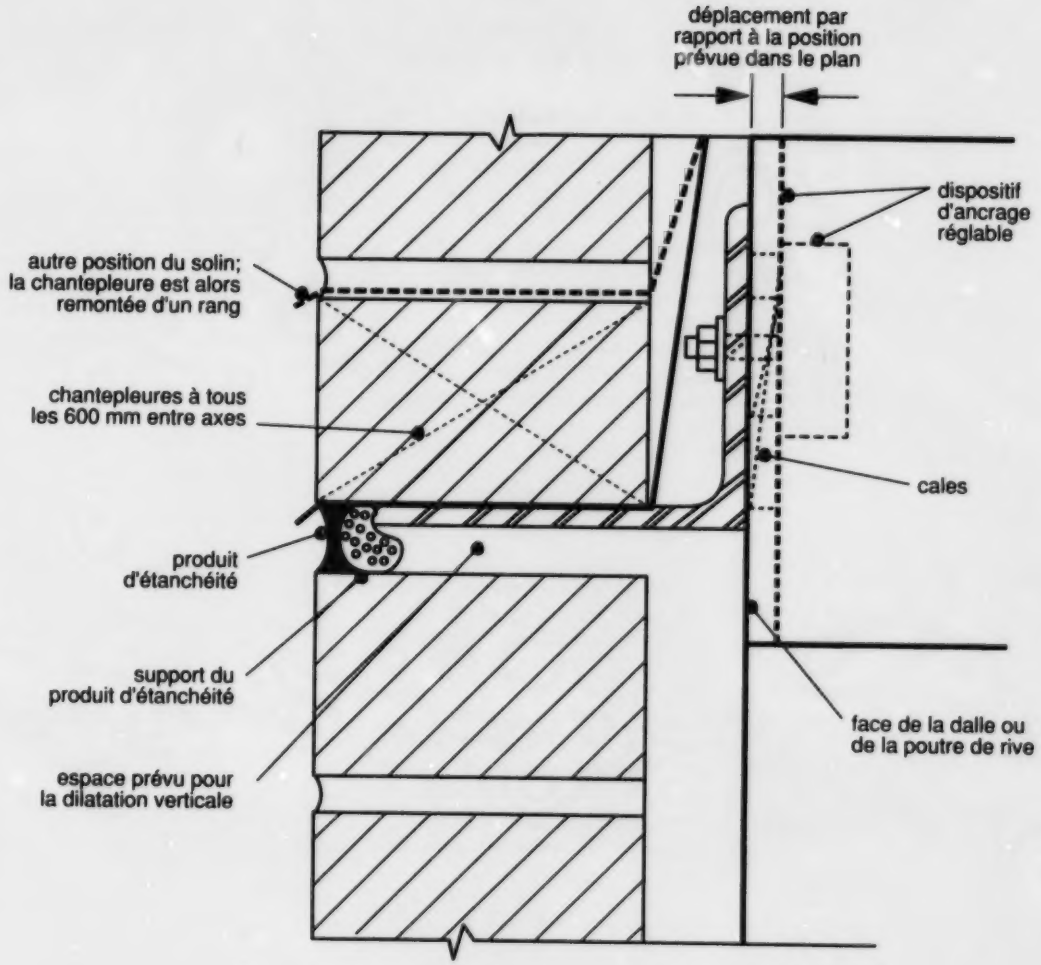
Figure 4.1 Différence de hauteur entre un placage de briques d'argile et l'ossature, lorsque les mouvements relatifs ne sont pas freinés

Le mouvement différentiel de 30 mm qui en résulte créerait de sérieuses contraintes :

- dans les attaches du placage et les bâtis de fenêtre, aux étages supérieurs du bâtiment; et
- dans l'ensemble formé par la membrane d'étanchéité et les solins du toit et du mur en surélévation.

Pour prévenir une telle situation, le placage est habituellement supporté à chaque étage par une cornière en acier; de plus, un joint de dilatation horizontal est ménagé à cet endroit, comme illustré dans la figure 4.2. En supposant une hauteur d'étage de 3 m pour un panneau de placage, le mouvement différentiel vertical entre le placage et l'ossature est d'environ 3 mm, une différence qui peut facilement être compensée par un joint de dilatation de la bonne dimension. En utilisant un produit d'étanchéité dont la déformabilité cyclique est de ±25 p. 100 et en tenant compte des tolérances de construction et de la flexion de la dalle de plancher, un joint de dilatation de 10 à 15 mm est généralement suffisant. Notez que dans la figure 4.2, l'exigence relative au joint de dilatation a trait à l'espace vertical libre entre le dessous de la cornière et le sommet du placage. Selon l'épaisseur de l'aile de la cornière, la largeur de joint qui serait visible à la surface du mur serait plus grande et mesurerait normalement de 20 à 25 mm.

Un joint de dilatation est aussi nécessaire entre le sommet du mur de fond non porteur axialement et la dalle de plancher ou la poutre de rive située au-dessus, afin de permettre la flexion de la dalle ou de la poutre, ainsi que le retrait de l'ossature et la dilatation thermique du mur de fond. Ce joint de dilatation empêche tout transfert des charges verticales au mur de fond. Les murs de fond à OA, qui sont conçus pour résister seulement aux surcharges latérales, sont particulièrement sujets à subir des dommages si de tels transferts de charges verticales se produisent. La largeur de ce joint de dilatation est en grande partie déterminée par la déformation élastique et le fluage de la dalle ou de la poutre de rive. Selon sa portée, le type de construction et les tolérances de construction, la flexion de la dalle ou de la poutre varie grandement et devrait donc être calculée dans chaque cas, afin de déterminer la largeur à donner au joint de dilatation. Une marge additionnelle de 2 mm pour la dilatation thermique du mur et le retrait de l'ossature est considérée comme suffisante pour les hauteurs d'étage courantes. Des modes d'ancrage spéciaux sont décrits dans le chapitre 6 pour les murs de fond en MBé, et dans le chapitre 7 pour les murs de fond à OA.



Note : Certains concepteurs demandent qu'on installe un matériau de remplissage «mou» dans le joint de dilatation, mais une telle pratique n'est pas recommandée pour deux raisons : certains matériaux de remplissage peuvent transférer d'importants efforts de compression de la structure au placage, et un espace ouvert est plus facile à inspecter.

Figure 4.2 Détail d'un joint de dilatation horizontal sous la cornière d'appui

4.5 *JOINTS VERTICAUX POUR MOUVEMENTS HORIZONTAUX*

Les placages de maçonnerie connaissent aussi des mouvements horizontaux. En supposant que ces mouvements ne sont pas freinés, comme l'illustre la figure 4.3 a), un mur de briques d'argile de 15 m de long construit à une température de 20 °C peut connaître une dilatation libre de 7 mm. Celle-ci est calculée en fonction d'une dilatation due à l'humidité égale à 0,02 p. 100 et d'une hausse de température superficielle du mur de 45 °C par une chaude journée d'été ensoleillée. Notez que la dilatation du mur se fait à partir du centre, comme indiqué dans la figure 4.3 a); elle est donc de 3,5 mm dans chaque sens.

Si, au lieu d'être libre, le placage de brique reposait sur une fondation de béton, celle-ci aurait tendance, sous l'effet de la chaleur, d'augmenter de la même longueur que le placage pour la même variation de température. Cependant, le béton d'un bâtiment neuf subit un retrait et, comme il est habituellement dans le sol, il est plus frais. Dans ce cas, le mouvement de la fondation ne suit pas parfaitement celui de la brique; la fondation freine donc, par suite de la friction, la dilatation de la maçonnerie de brique à sa base. Le placage de brique prend alors la forme illustrée dans la figure 4.3 b).

Généralement, il se produit un certain glissement vers la fin du mur et la brique déborde légèrement la fondation. En glissant, la brique arrache habituellement un éclat de béton, comme le montre la figure 4.3 c). Dans des murs encore plus longs et comportant des ouvertures, les contraintes pourraient provoquer le genre de fissuration illustré dans la figure 4.3 d).

Si la température de la maçonnerie de brique baisse jusqu'à - 25 °C ou même plus bas en hiver, la baisse globale équivaut à 90 °C. Cet important décalage par rapport à la température extrême de l'été provoque dans le placage de brique un retrait de 4 mm à chaque extrémité, et le mur a alors tendance à prendre la forme illustrée dans la figure 4.3 e), à moins que la base du placage puisse glisser le long de la fondation. En général, cependant, comme la surface de contact entre le béton et la maçonnerie de brique est plutôt rugueuse, celle-ci peut, à la suite du freinage du mouvement, subir de très fortes tensions. Or, la brique résistant mal aux tensions, des fissures peuvent se produire dans le placage.

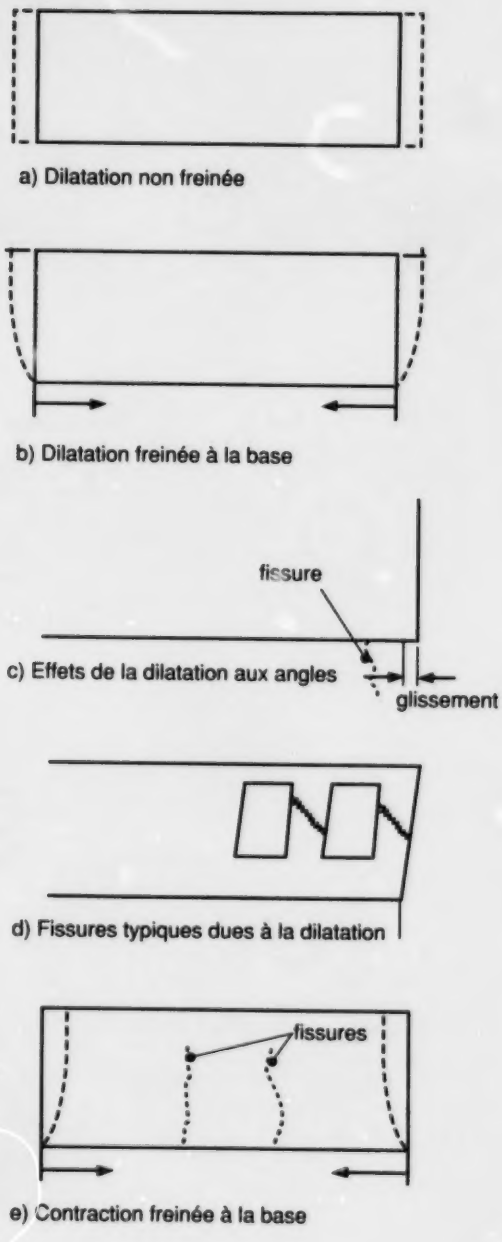


Figure 4.3 Effets de la dilatation et de la contraction sur de longs murs de maçonnerie

L'apparition de ces fissures dépend des matériaux utilisés, du climat, de l'orientation du bâtiment, de la longueur du mur, et même de la couleur de la brique. Si le mortier n'est pas trop dur, (p. ex. : un mélange 1:1:6 de ciment-chaux-sable ou un mortier de ciment pour maçonnerie équivalent), la tension peut être partiellement allégée par la présence, dans les joints de mortier, d'un nombre impressionnant de minuscules fissures sans conséquence. Mais on ne peut se fier uniquement à ce phénomène; il est recommandé de pratiquer des joints de dilatation et de contraction, à intervalles réguliers dans les placages longs. Notez que cette analyse et la même conclusion s'appliquent à la maçonnerie de béton, en tenant compte du fait que le béton a des mouvements thermiques plus importants et qu'il se contracte en raison des variations d'humidité.

Dans le cas des bâtiments de grande hauteur, le freinage qui s'exerce à la base du placage au niveau de chaque cornière d'appui signifie que le placage se compose d'une série de murs de faible hauteur et que, par conséquent, il peut être traité de la même façon que les murs de faible hauteur.

De ce qui précède, il est évident que les mouvements non freinés se produisent rarement en pratique et que le freinage des mouvements de la maçonnerie peut y créer des contraintes susceptibles de le fissurer. Les cas de fissuration courants dans les murs longs sont résumés dans la figure 4.4. Quant à la figure 4.5, elle illustre les mécanismes de fissuration connexes. Les fissures se produisent principalement à cause du freinage du mouvement dans des panneaux horizontaux relativement longs du placage en maçonnerie. Comme la figure 4.5 le laisse voir clairement, les angles et les baies des fenêtres constituent, dans le mur, des points faibles où les fissures peuvent facilement se produire.

Étant donné que les joints de dilatation du placage requièrent un certain entretien, il ne faut pas les multiplier inutilement. Le nombre minimal de joints de dilatation qu'il faut ménager dans le placage pour éviter les fissures est une affaire de calcul, mais aussi de jugement et de connaissance des matériaux, sans oublier la forme du bâtiment et le climat. Il existe peu de règles simples, bien établies, à ce sujet; mais les données basées sur l'observation, l'opinion des experts et la recherche indiquent que l'espacement des joints de dilatation verticaux dans le revêtement extérieur en briques d'argile d'un mur creux ou d'un mur à placage ne doit pas dépasser 12 m environ. Si le revêtement extérieur est fait de blocs de béton, l'espacement ne doit pas dépasser 8 m environ.

Il est rare qu'un bâtiment résidentiel ou un édifice à bureaux ait un mur qui ne comporte aucune fenêtre sur une longueur de plus de 12 m. Par contre, les murs en surélévation peuvent être passablement longs; ils sont en outre exposés à une gamme plus étendue de conditions thermiques et hygrométriques que le mur proprement dit situé plus bas. Normalement, les joints de dilatation verticaux d'un mur en surélévation doivent être espacés d'au plus 6 m; ils doivent en outre être alignés avec les joints verticaux du placage situé au-dessous.

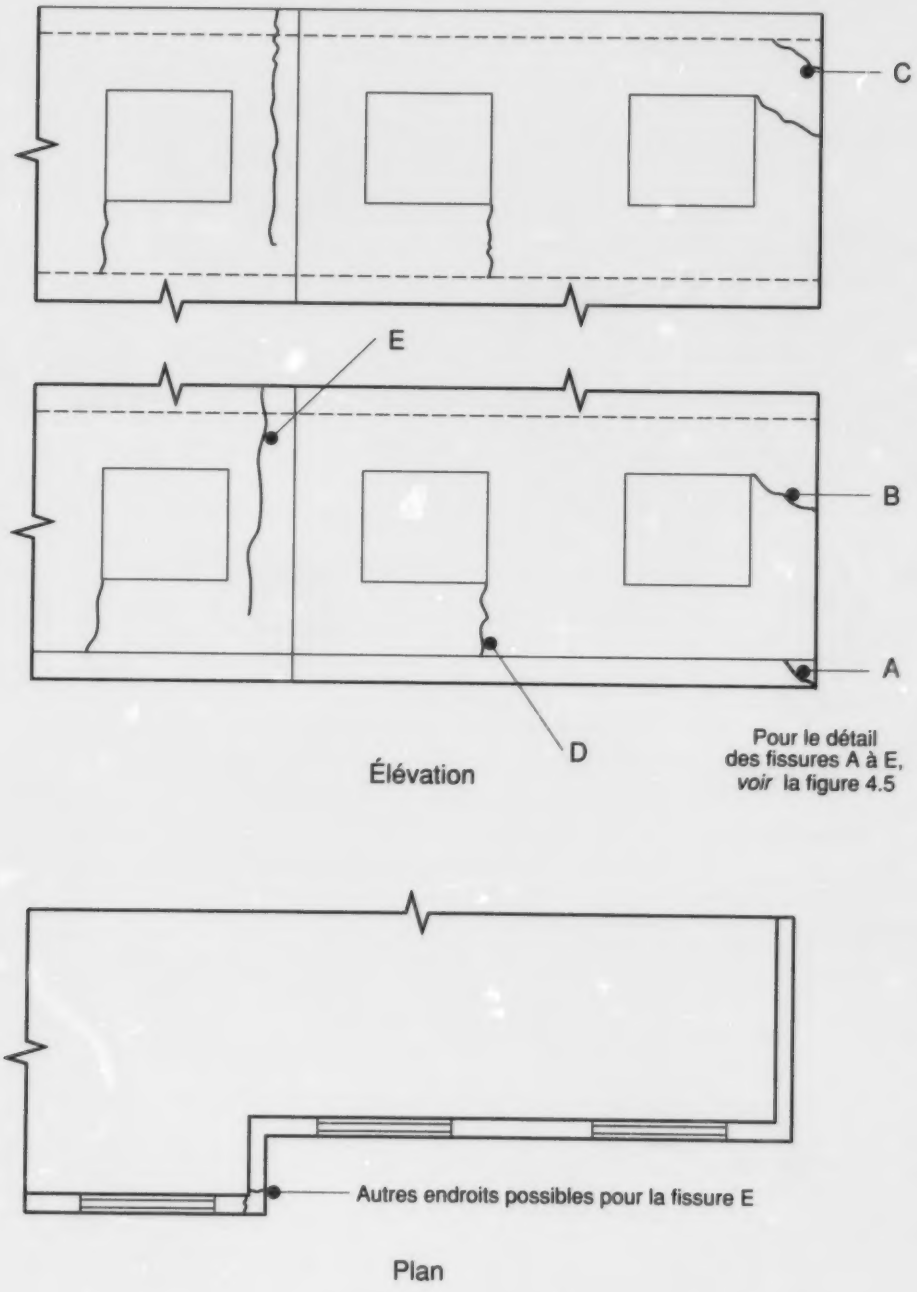


Figure 4.4 Genres de fissures que peuvent produire les mouvements horizontaux dans un placage de brique

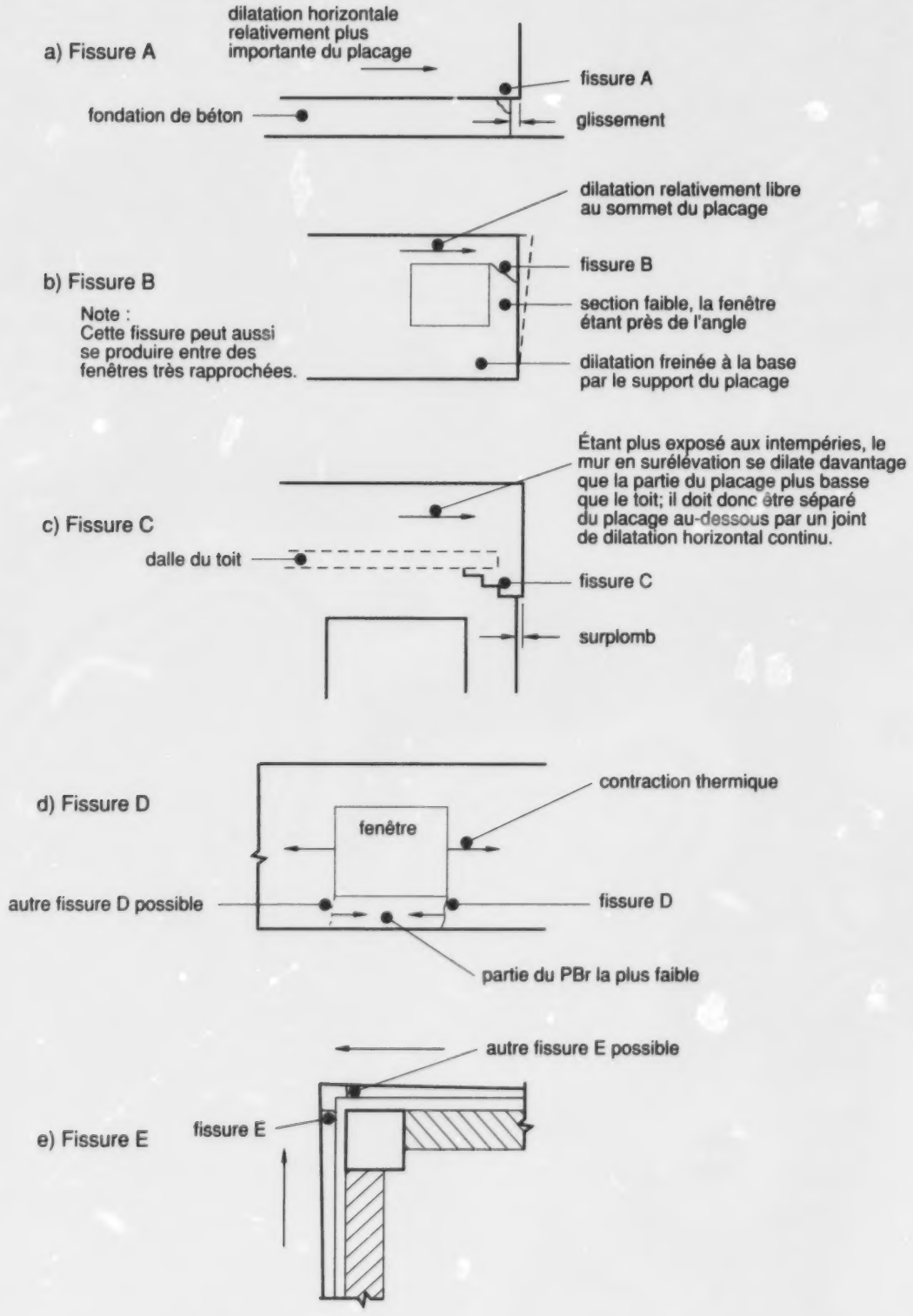


Figure 4.5 Mécanismes des divers types de fissures dues aux mouvements horizontaux, dans le PBr

Pour prévenir les fissures du genre A et D (*voir* figure 4.5), des joints de dilatation verticaux doivent être ménagés, de préférence aux fenêtres, chaque fois qu'un panneau de placage continu sous une fenêtre dépasse 10 m de long. Il est conseillé de prolonger ce joint au-dessus de la fenêtre. Étant donné qu'une cornière en acier ou un autre dispositif supporte le placage au-dessus de la fenêtre, il faut veiller à situer le joint vertical plus loin que le support, comme illustré dans la figure 4.6.

Le joint peut aussi être pratiqué à mi-chemin entre les rangées de fenêtres, comme on le voit dans la figure 4.7. Les fenêtres doivent être installées aussi loin que possible des angles, afin de prévenir les fissures du genre B. Si une fenêtre est installée à moins d'un mètre d'un angle, un joint de dilatation doit être pratiqué dans le placage plus haut que la fenêtre, à moins de 5 m de l'angle. Pour prévenir les fissures du genre E, les murs formant un retour de moins d'un mètre doivent être évités; si on ne peut faire autrement, un joint de dilatation doit être pratiqué dans l'angle, de préférence dans le mur le plus long.

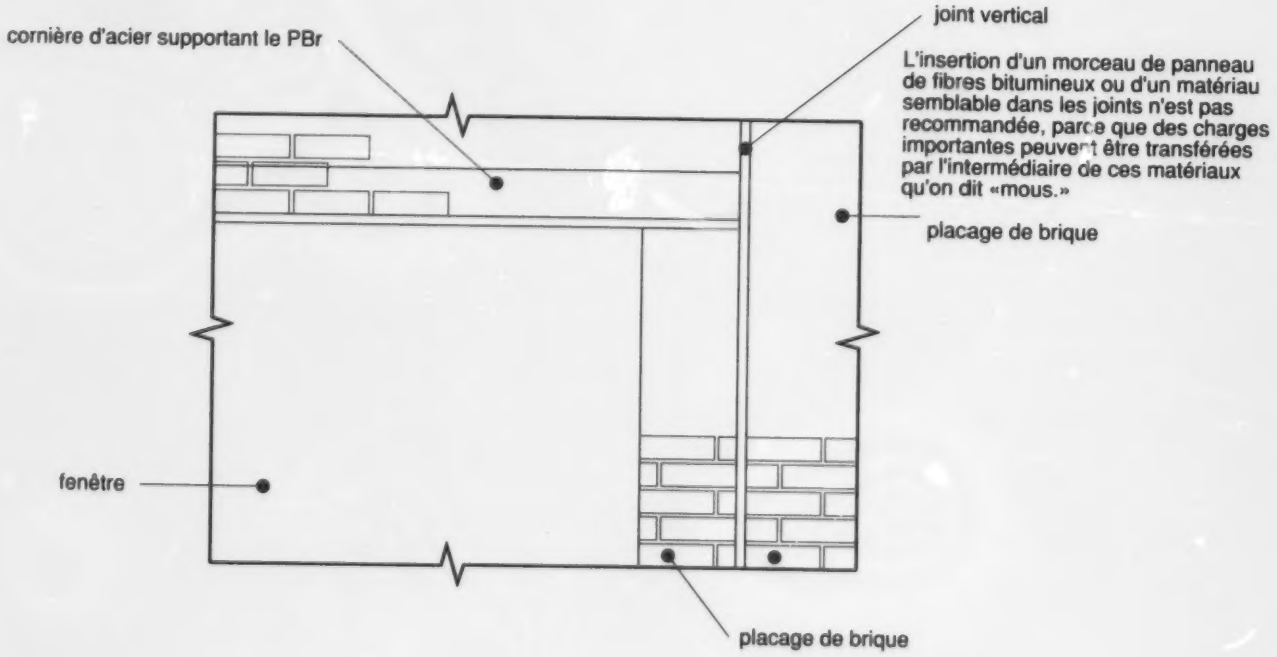


Figure 4.6 Détail d'un joint vertical près d'une ouverture, dans un placage de brique

Si les panneaux de placage qui se rejoignent dans l'angle sont tous deux longs, il doit y avoir un joint dans chacun des deux murs, près de l'angle ou dans l'angle même. Chaque fois qu'il y a un joint de dilatation dans la structure principale, un joint de dilatation correspondant doit être pratiqué dans le placage.

Il arrive fréquemment qu'on ménage des joints dans le placage de brique, vis-à-vis des colonnes ou des murs de refend, de façon à pouvoir ancrer le placage au support des deux côtés du joint, à l'aide d'agrafes flexibles, comme on le voit dans la figure 4.8.

On trouvera d'autres détails sur les joints verticaux pour les mouvements horizontaux dans les ouvrages énumérés dans les références à la fin de cette partie.[7,8,9,10] Le document *Technical Notes on Brick Construction No. 18*, publié par *The Brick Institute of America*, recommande que ces joints verticaux soient ménagés dans les murs longs, ainsi qu'aux ressauts, aux raccordements, aux angles et aux murs en surélévation, comme illustré dans la figure 4.9.

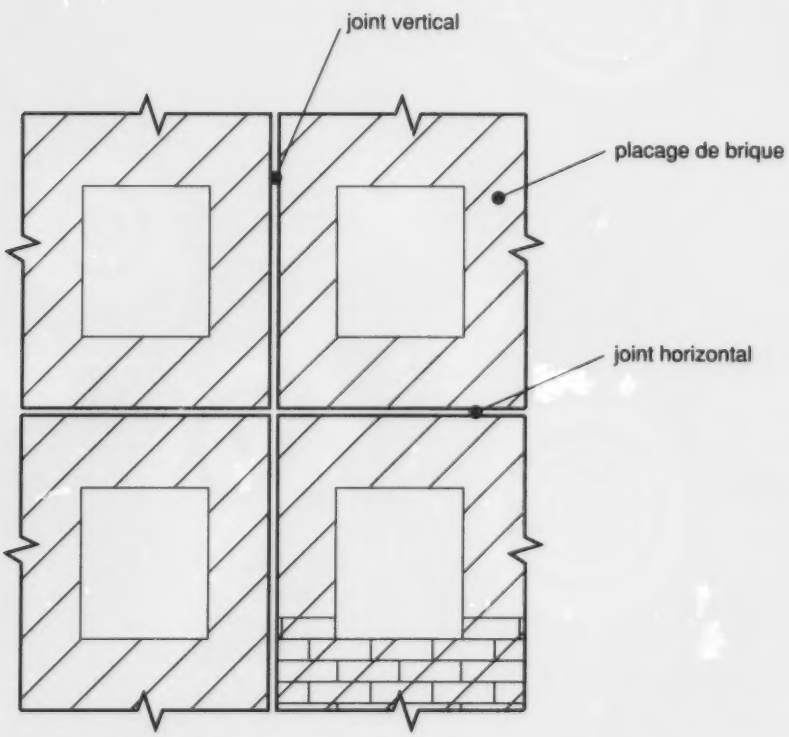


Figure 4.7 Joint vertical à mi-chemin entre des rangées de fenêtres

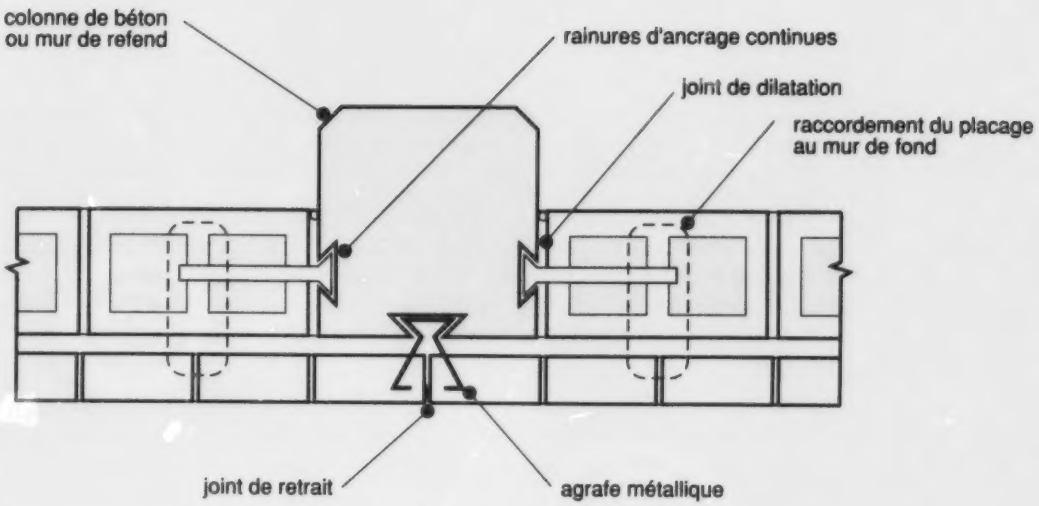


Figure 4.8 Joint de dilatation vis-à-vis de la colonne

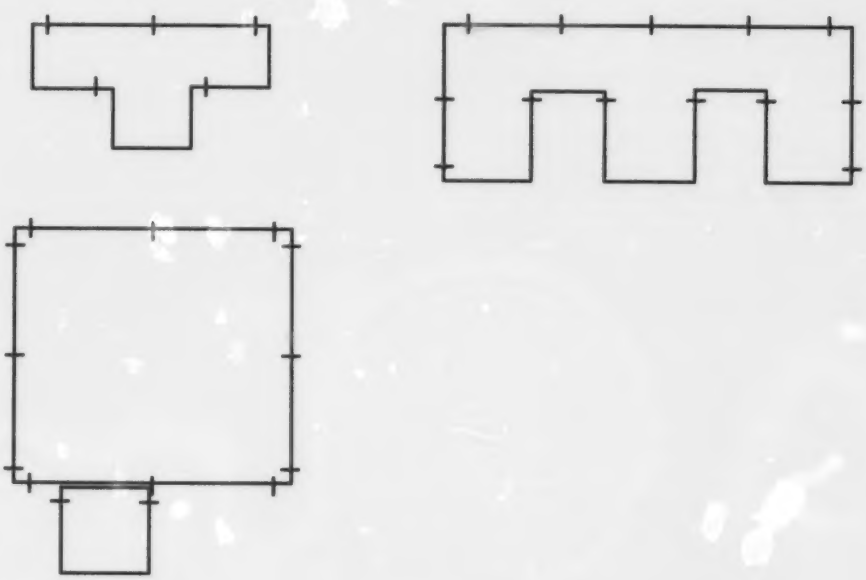


Figure 4.9 Endroits typiques où pratiquer les joints de dilatation

RÉFÉRENCES

1 Drysdale, R. G., A. Kluge et G. T. Suter, *Brick Veneer/Steel Stud Wall Systems - Physical Tests*, Proceedings, Fourth Conference on Building Science and Technology, Toronto, février 1988, pp. 201-219.

2 Experimental Building Station, *Differential Movements in Buildings Clad with Clay Brick 2 - The Design of Expansion Gaps*, Notes on the Science of Building, Department of Housing and Construction, NSB 85, Australie, 1975.

3 Grimm, Clayford T., «Design for Differential Movement in Brick Walls,» *Journal of the Structural Division*, American Society of Civil Engineers, novembre 1975, pp. 2385-240

4 Hall, J. S. et G. T. Suter, *How Safe Are Our Masonry Cladding Connections?*, Proceedings First Canadian Masonry Symposium, University of Calgary, juin 1976.

5 Plewes, W. G., *Failure of Brick Facings on High-Rise Buildings*, Digeste de la constructio au Canada n° 185, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherch Ottawa, 1976.

6 Suter, G. T. et H. Keller, *The Masonry Veneer Soft Joint Issue in a Historical Context*, Proceedings of Fourth Canadian Masonry Symposium, University of New Brunswic juin 1986.

7 Brick Institute of America, *Differential Movements*, Technical Notes on Brick Construction No. 18, 1984.

8 Eppel, F. J., *A Report on a Cross Canada Survey of Rain Penetration Risk in Masonry Buildings*, Proceedings of Third Canadian Masonry Symposium, Edmonton, juin 1983 pp. 31.1 -31.15.

9 Randall, Frank A. et William C. Panarese, *Concrete Masonry Handbook for Architects, Engineers, Builders*, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 1976.

10 Schild, Erich, Oswald, Rainer, Rogier, Dietmar et Schweikert Hans, *Structural Failure Residential Buildings*, Vol. 2, External Walls, and Openings, Granada Publishing, Toronto, 1979.

CHAPITRE 5

COMPOSANTS STRUCTURAUX COMMUNS AUX SYSTÈMES DE MUR À PLACAGE

5.1 INTRODUCTION

La présente section traite des règles de calcul des composants des murs à PBr, que le mur de fond soit en MBé ou à OA. Les conseils relatifs aux règles de calcul du système mural PBr-MBé seront donnés dans le chapitre 6 et ceux pour le système mural PBr-OA, dans le chapitre 7. Nous traiterons aussi, dans chacun de ces chapitres, des points faibles de chacun de ces systèmes.

5.2 MUR DE FOND

La partie du système mural située du côté intérieur a été appelée mur de fond, parce qu'elle constitue normalement le support du placage de brique. À ce titre, le mur de fond a traditionnellement été conçu pour résister à toutes les surcharges latérales et pour transférer celles-ci à la structure principale du bâtiment. Par souci de sécurité, l'ensemble placage-mur de fond est conçu de façon à pouvoir résister aux surcharges qui s'exercent perpendiculairement sur lui.

Le mur de fond peut être conçu séparément du placage de brique. Pour ce qui est des surcharges, il serait raisonnable de supposer qu'elles sont réparties uniformément. (Note : Lorsque le placage de brique est plus de 10 p. 100 plus haut que le mur de fond, le calcul de la surcharge sur le mur de fond doit tenir compte de la surface possiblement plus grande qui sera tributaire du mur de fond. Les exigences par rapport à la résistance du mur de fond seront fonction de la direction de sa portée (verticalement, horizontalement, ou les deux), ainsi que des dimensions des ouvertures et des méthodes adoptées pour transférer les efforts en provenance de ces endroits jusqu'à la structure de support. Dans le cas où les fenêtres ou les autres ouvertures sont grandes, il faudra peut-être accroître considérablement la capacité du mur à supporter les surcharges s'exerçant de chaque côté des ouvertures. De plus, le mur de fond doit être raccordé à la structure d'une manière qui convient à sa fonction. À la base, le mur de fond est normalement ancré au plancher, mais au sommet, le fait qu'on doit y ménager un joint de dilatation signifie qu'un raccordement rigide n'est pas acceptable et qu'on doit recourir à des dispositifs particuliers.

Dans le cas des murs en MBé, qui sont construits dans des ossatures capables de résister aux surcharges latérales, le glissement relatif entre étages peut avoir pour résultat de générer des contraintes en plan dans le mur. C'est pourquoi, à moins que le mur de fond n'ait été conçu comme un remplissage structural faisant partie de la structure porteuse, des espaces appropriés (de l'ordre de 1/500 de la hauteur d'un étage) sont requis sur les côtés, et les raccordements aux colonnes doivent permettre ce mouvement. Lorsque la structure principale est une structure comportant des murs de contreventement, le glissement relatif entre étages est habituellement assez petit pour que le mur à OA puisse être construit serré contre les supports de côté; quant au mur de fond en MBé, qui est plus rigide, il se peut qu'il ait encore besoin d'un certain jeu.

Bien qu'on ne puisse pas compter vraiment sur le placage de brique pour résister à une partie des surcharges latérales, le fait qu'il est raccordé au mur de fond signifie qu'il partage avec lui cette fonction. Comme on ne peut tout simplement pas déclarer que la résistance et la rigidité du placage de brique «n'existent pas», le placage de brique et le mur de fond se comportent en réalité comme un mur creux, jusqu'au moment où la rigidité du placage est modifiée par l'apparition de fissures; après quoi le partage des charges n'a pratiquement plus de sens. Comme nous en parlerons à propos des infiltrations de pluie, il faudra peut-être, pour limiter la largeur des fissures, concevoir conjointement le mur de fond et le placage de brique, afin que l'un et l'autre aient les qualités qui satisfassent aux conditions d'utilisation du bâtiment.

Comme il se peut que le placage et le m de fond ne soient pas de la même hauteur de la même longueur et qu'ils ne soient pa supportés de la même façon, ni raccordés l'un à l'autre par des attaches rigides, les calculs de répartition des charges proportionnellement à la rigidité de leurs section structurales (EI) respectives sont, au mieux, très approximatifs.[1] Malgré cela dans les cas extrêmes, lorsque l'un est beaucoup plus rigide que l'autre, ce genre d'analyse fournit une approximation raisonnable des efforts de flexion qui se manifesteront dans celui qui est le plus rigide. Lorsque le mur de fond est beaucoup plus rigide que le placage, comm dans le système PBr-MBé, il est peu probable que des fissures dues aux flexion ou des flexions inacceptables, se produise dans le placage. De même, lorsque le placage est beaucoup plus rigide que le m de fond, comme dans le système PBr-OA, flexion du placage avant de se fissurer et l charges qui occasionnent les fissures peuvent être assez bien calculées, en considérant que le placage porte toute la charge, ou presque toute la charge, proportionnellement à sa rigidité relative par rapport au mur de fond.

Lorsque le placage et le mur de fond on la même résistance à la flexion, les facteur susmentionnés influent beaucoup plus su la répartition des charges entre les deux, e l'évaluation des efforts de flexion exige une analyse structurale beaucoup plus rigoureuse qui tient compte de ces influences. Une analyse rigoureuse est également nécessaire pour évaluer correctement les flèches, la force des attaches et les réactions. Cette méthode analytique est nécessaire en outre pour déterminer les contraintes dans un mur d fond relativement flexible.

En résumé, le mur de fond doit normalement être conçu comme s'il portait toute les surcharges latérales et, si le mur de fond est rigide, comme s'il était suffisamment rigide pour empêcher le placage de se fissurer. Par ailleurs, si le mur de fond est relativement flexible, il doit être conçu de façon à maintenir la flexion totale du système mural dans des limites acceptables; en même temps, il est recommandé que le placage de brique soit suffisamment solide pour porter le gros des surcharges jusqu'au niveau où sa fissuration est considérée comme acceptable. L'examen des critères relatifs aux charges de fissuration du placage aura lieu dans le chapitre 10, où la question du comportement du placage en situation est étroitement reliée aux fonctions du mur selon la science du bâtiment. Les limites de flexion sont aussi examinées dans le chapitre 7.

5.3 *PLACAGE DE BRIQUE*

Le placage de brique offre non seulement une apparence esthétique et plaisante, mais aussi une protection durable contre le vent et la pluie. À ce dernier titre, il s'oppose directement à la pluie qui le frappe et empêche l'eau qui s'infiltre quand même d'atteindre le mur de fond, grâce à la lame d'air qui le sépare du mur de fond. La quantité d'eau qui s'infiltre dans le placage est en grande partie limitée dans la mesure où la pression d'air est équilibrée des deux côtés du placage, conformément au principe de l'écran pare-pluie ouvert. Le placage est à même de mieux remplir ces fonctions s'il n'est pas fissuré. Les critères de conception doivent donc déterminer dans quelle mesure les fissures sont acceptables, et indiquer clairement les précautions supplémentaires ou les détails de construction qu'il y aura lieu d'adopter, une fois le placage fissuré, pour remédier aux infiltrations sans doute plus volumineuses qui se produiront alors.

Pour les cas où la seule conception possible consiste à permettre la fissuration à un niveau de charge inférieur à la charge de calcul complète, il est encore utile d'évaluer le niveau de charge auquel la fissuration se produira probablement. En fait, la détermination d'une charge minimale que le placage devrait pouvoir porter avant de se fissurer pourrait servir de limite inférieure d'utilisation. Étant donné que, dans bien des cas, le mur n'est jamais soumis à la charge de calcul complète et que des effets de renforcement secondaires existent souvent, il se peut qu'un bon nombre de ces murs ne se fissurent jamais. Bien que la conception doive tenir compte de l'accroissement éventuel des infiltrations d'eau à cause des fissures, le nombre de problèmes reliés aux infiltrations de pluie sera réduit en raison même du moins grand nombre de murs qui se fissureront. Ce point est examiné plus à fond dans les chapitres 9 et 10.

Il importe de noter que l'état des supports a des effets certains sur la résistance du placage de brique à la fissuration, lorsque les supports sur les quatre côtés d'un panneau accroissent sensiblement la charge limite de fissuration. Étant donné que les attaches et autres dispositifs d'ancrage transfèrent les charges du placage de brique au mur de fond ou à la structure principale, la rigidité et l'emplacement de ces supports influent aussi sur la résistance du placage à la fissuration. Selon une estimation prudente de la charge limite de fissuration, le placage peut être conçu indépendamment en choisissant un arrangement ne comportant que de simples supports et en lui appliquant la portion de la charge calculée d'après les valeurs relatives EI.

Ce qui s'exprime comme suit :

$$P_{pbr} = P_{total} \frac{EI_{pbr}}{EI_{pbr} + EI_{soutien}}$$

(Équation 5.1)

où

P_{total} = pression latérale totale uniformément répartie

P_{pbr} = pression latérale uniformément répartie sur le placage de brique.

Si le mur de fond ou la structure principale n'offrent pas un support sûr, l'évaluation de la capacité de charge du placage de brique lui-même est une évaluation prudente pouvant remplacer une analyse rigoureuse.

Certains programmes informatiques, tels qu'une analyse de cadre bidimensionnel, peuvent être utilisés pour effectuer une analyse structurale des systèmes muraux à PBr. Les résultats de ces analyses fournissent des renseignements suffisamment précis pour permettre au concepteur d'évaluer exactement les conséquences de ses décisions.

Lorsque le placage de brique se fissure, une grande partie de la surcharge qui s'exerce sur lui est transférée au mur de fond. Dans le cas des murs de grande hauteur, en particulier, il faut tenir compte de la possibilité que d'autres fissures apparaissent et que le placage devienne instable, advenant que l'espacement des fissures soit inférieur à deux fois l'espacement des attaches. C'est ce qu'illustre la figure 5.1. Étant donné que l'emplacement des fissures dans le placage influe aussi sur la résistance des attaches, il se peut qu'il soit nécessaire d'analyser les divers schémas de fissuration possibles, dans le cas de configurations murales inhabituelles.

Le placage de brique doit enjamber les ouvertures. Au-dessus des petites ouvertures, on installe habituellement un linteau en forme de cornière, lorsque la charge portée par le linteau se définit par un triangle isocèle à 45°, comme on le voit dans la figure 5.2. Comme déjà expliqué dans le chapitre 4, il est important de rappeler que ce linteau ne doit pas être ancré directement à la structure. Dans le cas des grandes ouvertures, il est habituellement mieux de pratiquer des joints verticaux dans le placage, en ligne avec le bord des fenêtres. Dans ces cas, comme indiqué dans la figure 5.3, les panneaux de placage au-dessus des ouvertures peuvent reposer sur des cornières d'appui ancrées à la structure; celles-ci ne doivent pas dépasser les joints verticaux. Cette méthode est ingénieuse puisqu'elle élimine la possibilité que des fissures se forment aux angles des ouvertures.

5.4 *SUPPORT VERTICAL DU PLACAGE DE BRIQUE*

Fondamentalement, il existe deux façons de supporter le placage de brique.

1. La méthode la plus courante consiste à faire reposer le placage de brique sur une cornière d'appui, comme dans la figure 5.4. Le panneau de placage ainsi supporté a une hauteur d'étage, mais alors que la base est supportée à la fois latéralement et verticalement par la cornière d'appui, le placage ne rejoint pas la cornière d'appui au-dessus de lui, son seul support à cet endroit étant la dernière rangée d'attaches au sommet. La prochaine section traitera de la conception détaillée du système de cornière d'appui et de ses exigences.

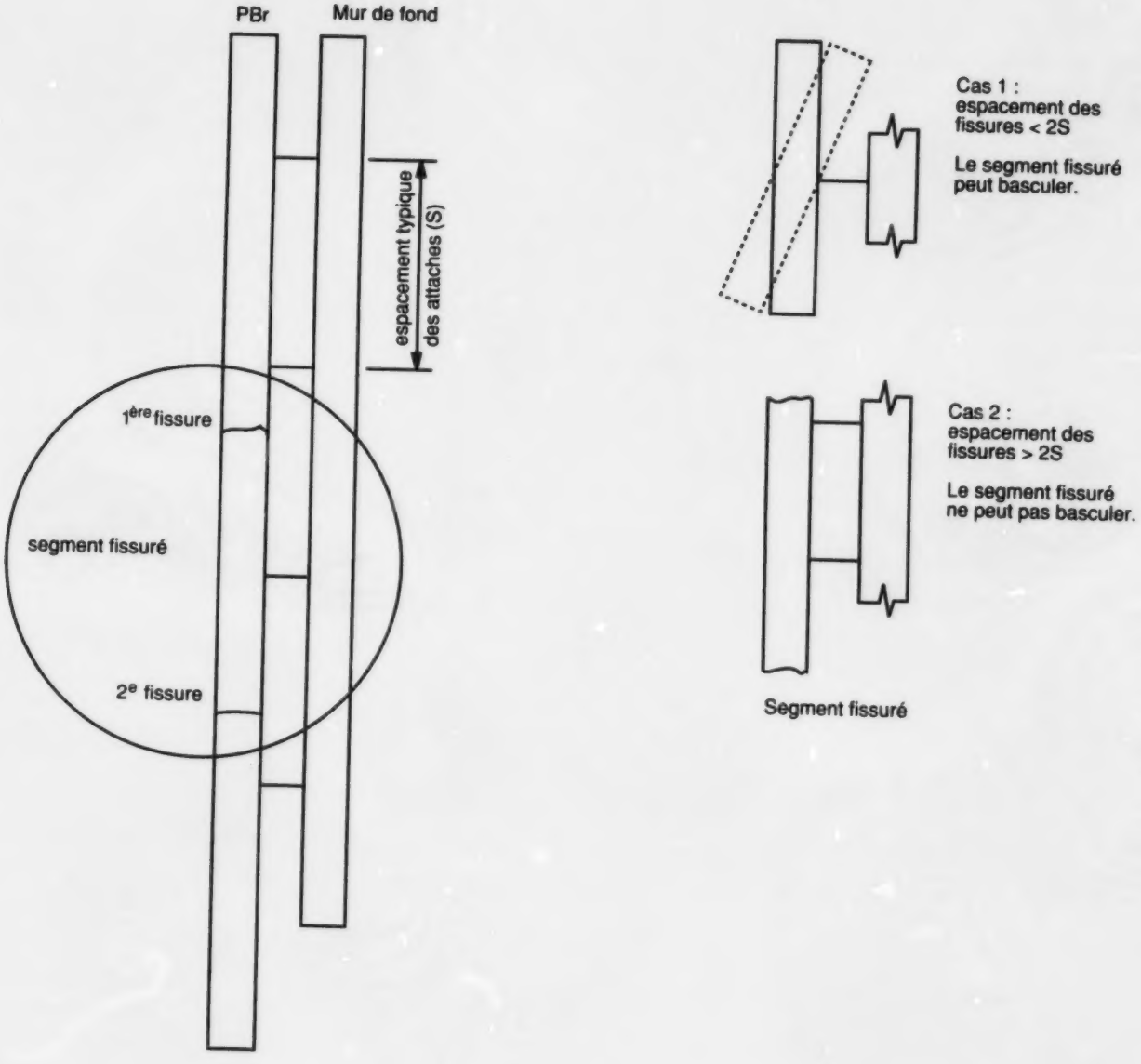


Figure 5.1 Illustration de l'instabilité possible d'un placage fissuré, quand les attaches sont très espacées

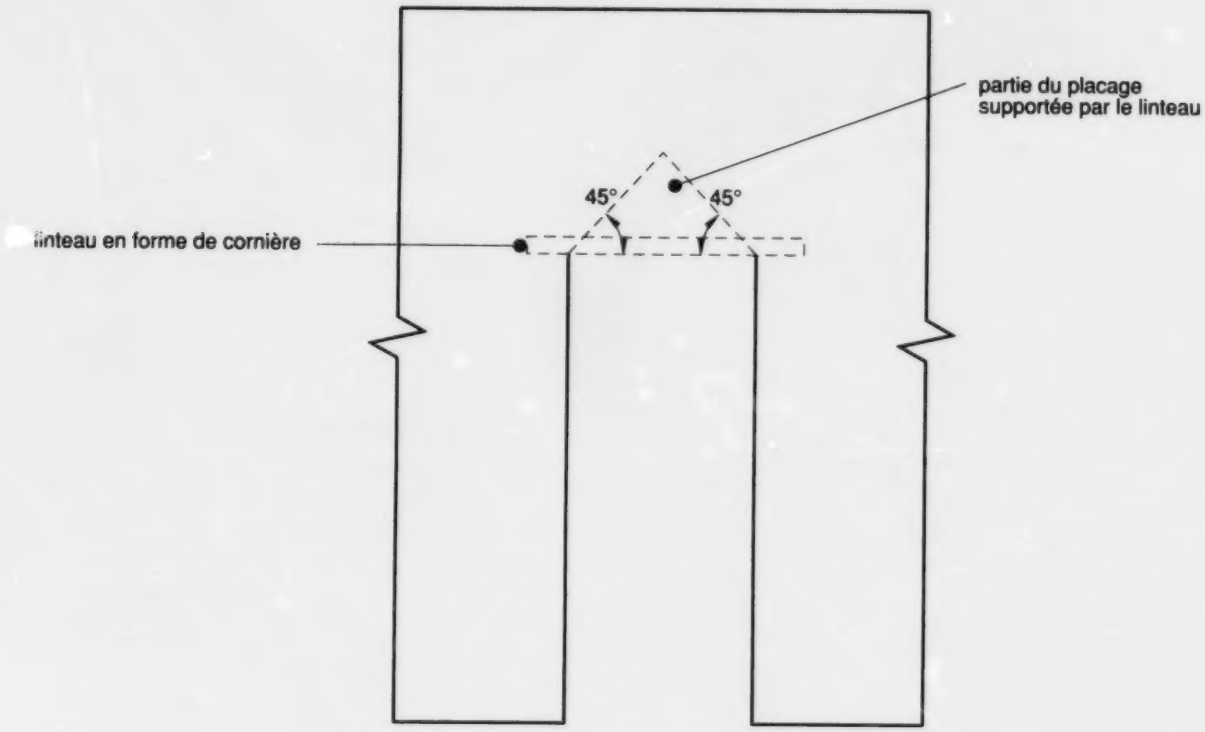


Figure 5.2 Charge sur le linteau au-dessus de l'ouverture

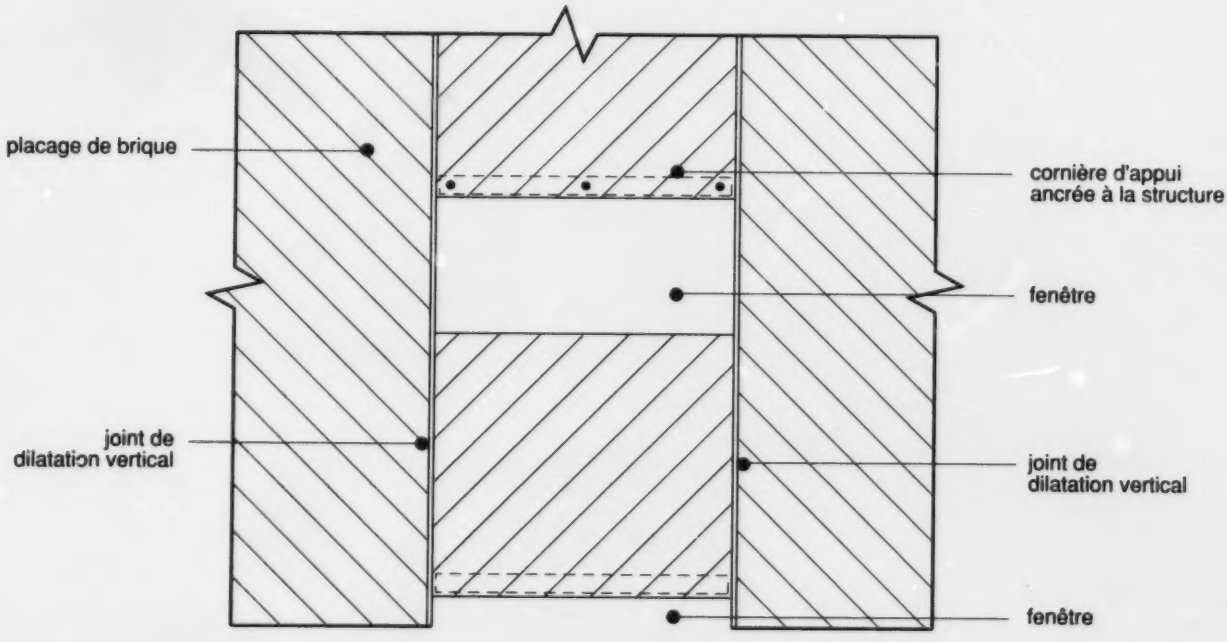


Figure 5.3 Cornières d'appui distinctes pour supporter le placage au-dessus des ouvertures

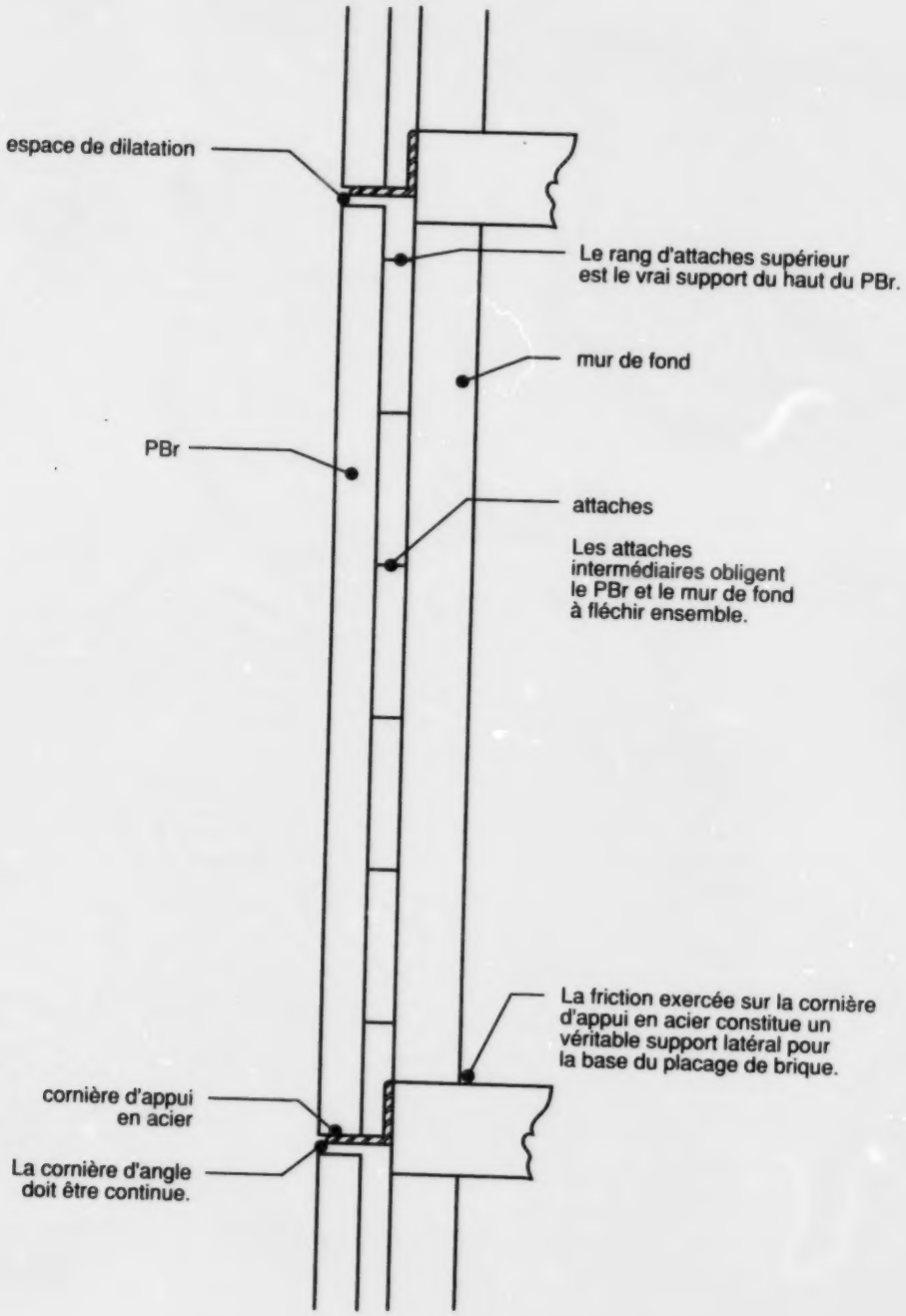


Figure 5.4 Support du PBr au moyen d'une cornière

2. Une méthode qui a été populaire, parce qu'elle ne nécessite pas de cornières d'appui et permet d'exécuter les travaux sans échafaudages, ni fixes ni volants, consiste à faire reposer à la fois le placage et le mur de fond sur les dalles de plancher du bâtiment. Cette méthode de construction peut entraîner des difficultés, à cause des ajustements que le maçon doit faire pour compenser les différences de hauteur des étages ou à cause du mauvais alignement des rives des dalles. Mais l'avantage qu'offre cette méthode qui exige moins d'efforts et de matériaux, et qui présente donc moins de détails susceptibles d'engendrer des problèmes, tend à disparaître à cause de certains inconvénients reliés à la science du bâtiment (possibilité d'infiltrations d'eau, de pertes de chaleur et de refroidissement des murs intérieurs du bâtiment) et à cause des limites architecturales qu'imposent les dalles de plancher du fait qu'elles sont visibles sur le mur extérieur.

5.5 *EXIGENCES STRUCTURALES DE LA CORNIÈRE D'APPUI*

La cornière d'appui doit être conçue de façon à pouvoir supporter le poids du placage sur l'aile étendue, dont la résistance à la flexion doit être calculée en supposant que le placage est à la position la plus extérieure possible sur l'aile. Les boulons d'ancrage de la cornière à la structure assurent la résistance au cisaillement causé par le poids du placage et sont la composante tension du couple qui assure la résistance au moment à ce support. Généralement, les boulons ou les dispositifs d'ancrage soudés ne doivent pas être espacés de plus de 1,2 m et doivent avoir le calibre voulu pour supporter les efforts de cisaillement et de flexion.

La cornière d'appui doit offrir un support continu au placage. Afin d'assurer cette continuité aux angles, il se peut qu'on doive y couper à 45° les éléments de cornière qui se rencontrent.

Comme illustré dans la figure 5.5, le moment de la force qui s'exerce sur la cornière est égal au poids du placage multiplié par la distance qui le sépare de la face du support. Le moment de résistance est égal à la force de tension multipliée par la distance jusqu'à la composante compression du couple. Il est donc très important d'utiliser la bonne sorte de cales pour effectuer l'ajustement horizontal. L'utilisation de rondelles laisserait de petites distances entre l'effort de tension et l'effort de compression, et produirait des contraintes excessives dans le béton comprimé. Il pourrait s'ensuivre une rotation de la cornière.

Dans la conception de la cornière d'appui, il est très important de décider dans quelle mesure la position de la cornière peut et doit être réglable. Si elle est fixée de façon définitive au moment de la mise en place du béton de l'ossature principale, son emplacement vertical et horizontal est lié aux tolérances de construction de l'ossature. Cette méthode a ses avantages et ses inconvénients.

AVANTAGES

- Le raccordement à l'ossature, habituellement à l'aide d'une bride d'ancrage scellée dans le béton lors de la coulée, est sûr.
- Ce mode de raccordement est simple et facile, ne comporte presque aucun risque de glissement, et n'exige qu'un minimum de surveillance sur le chantier.

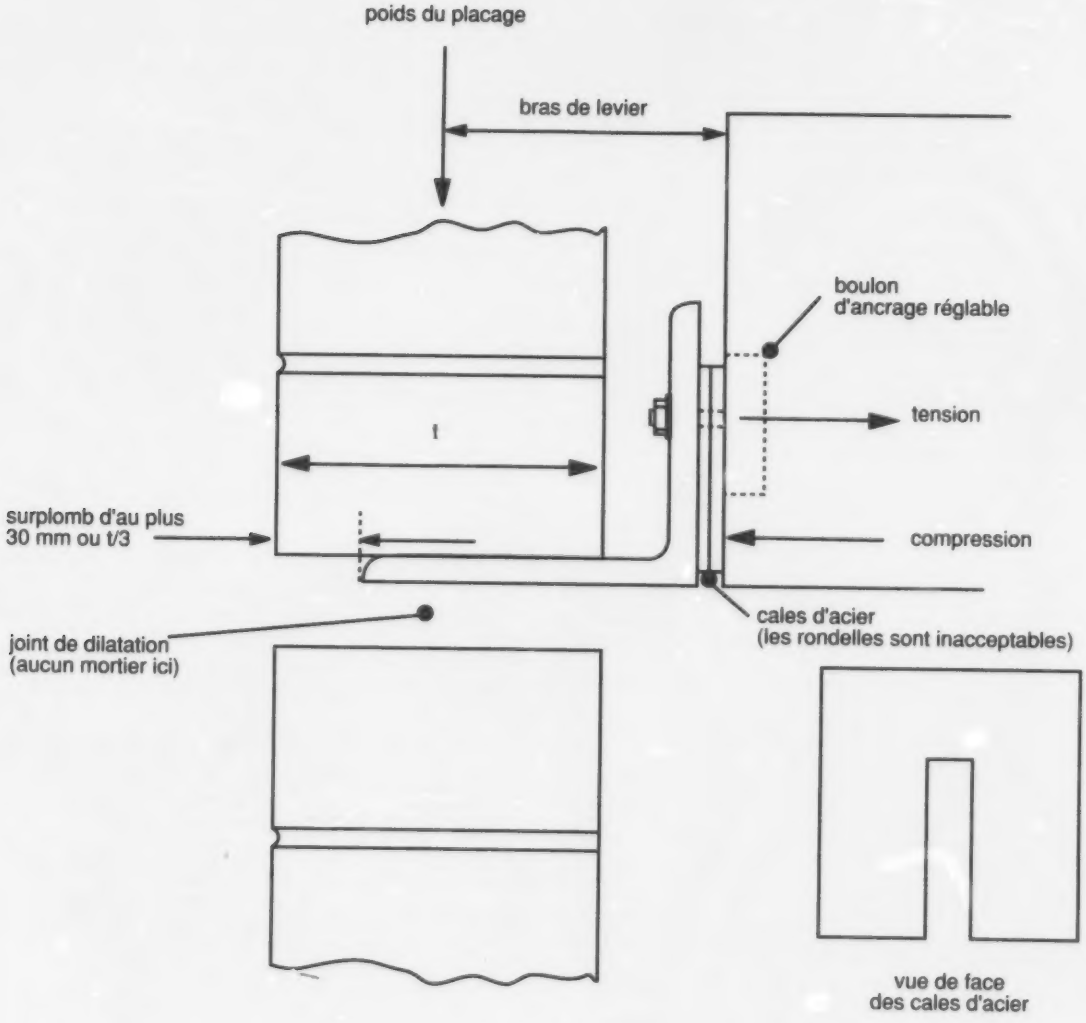


Figure 5.5 Schéma d'une cornière d'appui

DÉSAVANTAGES

- À cause des tolérances de construction, les différences dans la position verticale de la cornière d'appui peuvent avoir pour effet que le joint de dilatation situé sous la cornière est trop large ou trop étroit. Bien que le maçon puisse corriger ces différences dans une certaine mesure, le fait que les joints n'ont pas tous la même largeur et que la ligne de base du placage ondule risque de créer un effet peu esthétique.
- Les différences dans la position horizontale de la cornière d'appui ne peuvent se corriger qu'en faisant varier la position d'appui de la brique sur la cornière. Étant donné que la brique ne peut déborder la cornière de plus de 30 mm, c'est-à-dire le tiers de la largeur de la brique, la marge de réglage est assez étroite et peut nécessiter beaucoup de soin de la part du maçon.
- La pose du dernier rang de briques, juste sous la cornière d'appui supérieure, peut s'avérer difficile.

On peut aussi fixer une cornière réglable à l'ossature principale, à l'aide de boulons installés dans le béton lors de la coulée ou insérés après coup dans le béton durci. Cette méthode comporte aussi des avantages et des désavantages.

AVANTAGES

- Le réglage vertical est possible, grâce à une fente dans la cornière.
- Le réglage horizontal se fait au moyen de cales.
- L'esthétique est sauvegardée parce que les joints ont tous la même largeur.

DÉSAVANTAGES

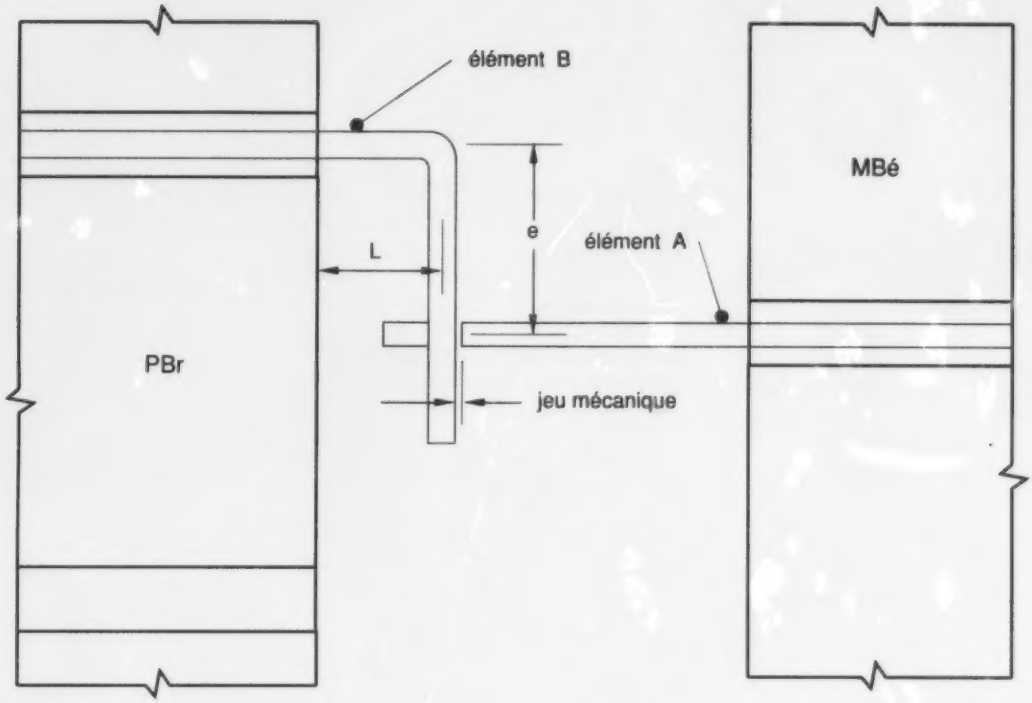
- Les boulons d'ancrage installés dans le béton lors de la coulée ne tombent pas nécessairement vis-à-vis des fentes de la cornière.
- Ces cas de décalage se corrigent habituellement, soit par l'élargissement des fentes de la cornière, soit par le forage de nouveaux trous pour installer de nouveaux boulons. Notez que la technique souvent utilisée d'élargir une fente au chalumeau détruit l'enduit qui protège la cornière contre la corrosion à cet endroit et nécessite par conséquent des retouches qui peuvent s'avérer moins efficaces que l'enduit protecteur posé en usine. Il arrive souvent aussi que la fente élargie ne laisse pas suffisamment de surface d'appui à l'ensemble rondelle-écrou.
- Cette méthode exige plus de soin dans la construction et plus de vigilance dans l'inspection, afin de s'assurer du bon alignement de la cornière d'appui, de l'utilisation judicieuse des cales et du serrage correct du dispositif d'ancrage écrou-boulon. Notez que, si les boulons d'ancrage encastrés dans le béton sont longs, il se peut que le fluage et le retrait du béton entraîne une réduction de tension dans le boulon d'ancrage. De plus, dans le cas des boulons d'ancrage insérés après coup dans le béton durci, il faut veiller à bien nettoyer les trous forés afin de pouvoir y établir et y maintenir les efforts de tension prévus.

5.6 *ATTACHES*

L'adoption, par le *Code national du bâtiment du Canada 1985*, de la norme CAN3-A370,[2] *Éléments de liaison de la maçonnerie*, a eu l'avantage d'attirer l'attention sur la nécessité d'évaluer à la fois le comportement structural et le comportement à long terme des attaches. La norme donne des conseils sur la façon d'évaluer les attaches et indique le coefficient de sécurité qu'il faut pour prévenir divers genres de défaillance possibles. Cependant, les exigences concernant la résistance et la rigidité ne sont pas précisées. De plus, les tableaux des espacements horizontaux et verticaux des attaches présupposent que les efforts sur les attaches, ou les surfaces tributaires des attaches, sont uniformes, ce qui est faux. Des essais exhaustifs et l'analyse détaillée de la structure montrent en effet que l'attache supérieure qui relie le placage au mur de fond est de loin celle qui supporte la plus forte charge; dans le cas d'un mur de fond flexible, cette charge peut atteindre presque la moitié de la charge qui s'exerce sur le mur. Par conséquent, les attaches au haut du mur doivent, ou bien être conçues de façon à pouvoir supporter ces efforts plus grands, ou bien être beaucoup plus rapprochées horizontalement.

Avant que l'attention ne se porte récemment sur le comportement structural des attaches, le souci majeur, en dehors du coût, était d'adapter les attaches au processus de construction. Ceci a suscité la production d'une grande variété d'attaches qu'on appelle réglables, en ce sens qu'on peut les utiliser même quand les joints de mortier du placage et du mur de fond ne sont pas au même niveau. Du point de vue de la rigidité structurale, certaines attaches qu'on trouve sur le marché sont impropres. En plus de la nature flexible de ces attaches, le jeu (p. ex. : des trous trop grands) que comportent certains types de réglage constitue un sujet de préoccupation. Comme on le voit dans la figure 5.6, une attache comportant un réglage vertical par la patte d'assemblage peut être très flexible et n'avoir pourtant qu'une résistance limitée; ce détail ne peut être négligé dans le choix des attaches. De plus, comme l'illustre la figure 5.7, l'attache doit être capable de supporter les charges, même lorsqu'il y a déformation extrême. Enfin, la façon de manipuler les attaches sur les lieux, comme le fait de les courber et la façon de les aligner, peut avoir pour effet de les affaiblir et de réduire leur rigidité. Il y a des publications récentes sur les normes et la recherche dans ce domaine.[3,4,5,6,7,8,9]

À ce point de vue, les dentelures et le larmier qu'on incorporait autrefois dans nombre de types d'attache pour empêcher l'eau de traverser la lame d'air jusqu'au mur de fond ont été éliminés par la norme, afin que les attaches soient plus rigides et plus résistantes.



Effet du jeu mécanique

Si le crochet de l'élément B a 4,76 mm de diamètre (D) avec un coefficient de rupture (fy) de 400 MPa, en supposant un coefficient de charge (LF) de 3,0, l'effort (F) qui peut être transféré dépend de la distance entre axes (e) des deux éléments (B et A) de l'attache.

Par conséquent $F = \left[\frac{Z}{e}\ \frac{(fy)}{3}\right]$

Si l'on ne tient pas compte de l'allongement du crochet, le déplacement que subit le crochet du fait de son fléchissement est :

$$\triangle = \frac{1}{EI}\left(Fe^2L + \frac{Fe^3}{3}\right)$$

Pour un réglage minimal de e = 4,76 mm

$$F = 1{,}7\ \frac{\pi\,(4{,}76)^3}{32}\ \frac{400}{3}\ \frac{1}{4{,}76}$$

$$= 505\ N$$

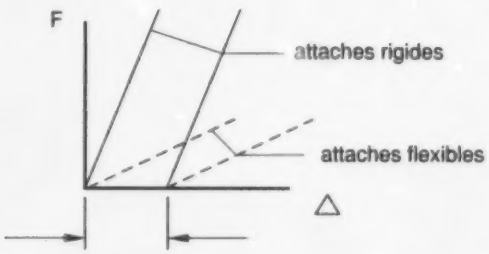
Si F = 505 N et L = 20 mm, $\triangle$ = 0,05 mm

Si le réglage est de e = 30 mm,

$$F = 1{,}7\ \frac{\pi\,(4{,}76)^3}{32}\ \frac{400}{3}\ \frac{1}{30}$$

$$= 80\ N$$

Si F = 80 N et L= 20 mm, $\triangle$ = 0,43 mm



Effet du jeu mécanique

Figure 5.6 Effet du réglage sur la résistance d'une attache

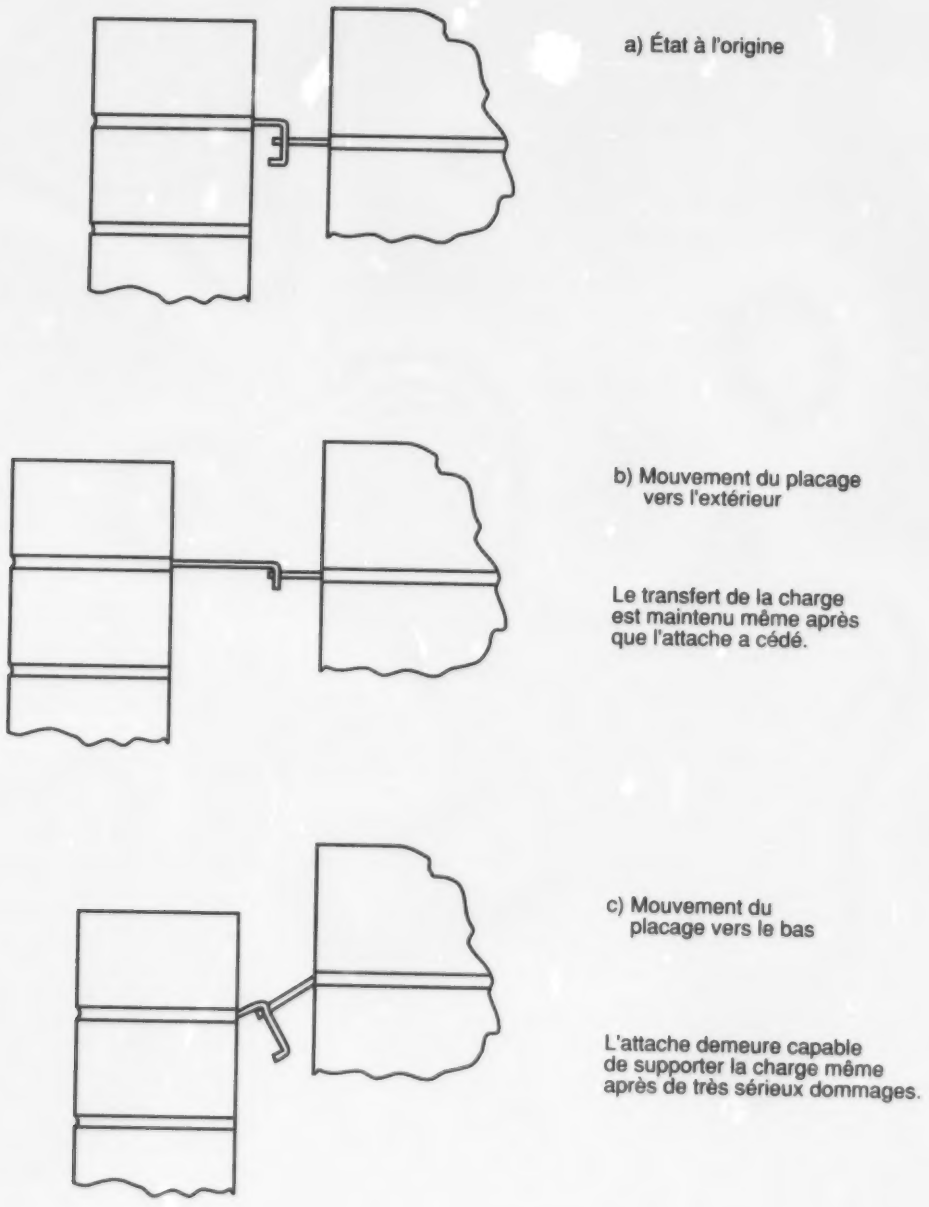


Figure 5.7 Illustration de ce qui est nécessaire pour que les attaches demeurent capables de supporter les charges après une première défaillance

Les attaches en tôle ondulée sont couramment utilisées au Canada depuis longtemps, mais c'est à tort qu'on a utilisé, dans la construction de certains bâtiments de grande hauteur, des attaches d'épaisseur n° 28 seulement. Bien que le CNB permette l'utilisation d'attaches en tôle ondulée d'épaisseur n° 22 dans une lame d'air ne dépassant pas 25 mm de largeur, la présence de courbures dans les attaches peut avoir de très sérieuses conséquences sur leur rigidité en tension et leur résistance au flambage en compression.[10] C'est pourquoi, à moins de pouvoir prévenir complètement leur déformation en chantier, les attaches en tôle ondulée ne sont pas recommandées pour les bâtiments de grande hauteur.

Lorsque des vis ou des matériaux de natures différentes ont été utilisés, la corrosion a suscité de vives inquiétudes à propos des propriétés des attaches à long terme.[11] C'est pourquoi les attaches qui, autrefois, n'étaient que galvanisées doivent aujourd'hui être galvanisées à chaud;[12] certains concepteurs exigent même de l'acier inoxydable ou d'autres matériaux non sujets à la corrosion, surtout si les conditions environnementales sont mauvaises.

Les attaches qui lient le placage de brique au mur de fond doivent être choisies de façon à satisfaire aux conditions expliquées dans la section qui suit.

RÉSISTANCE ET RIGIDITÉ SUFFISANTES

Les attaches doivent être capables de transférer les efforts de tension et de compression. Bien que, dans le passé, on ait considéré que les efforts transférés par les attaches étaient assez également répartis entre eux, il a été démontré que c'était faux. Lorsque le placage ne se fissure pas, ce sont les attaches supérieures qui transfèrent la réaction pour la part de la charge supportée par le placage. Par ailleurs, si le placage se fissure à peu près à mi-hauteur, les attaches à proximité de la fissure transféreront au mur de fond environ la moitié de la charge qui s'exerce sur le placage. Dans la conception de la résistance et de la rigidité des attaches, il faut tenir compte des conséquences de leur encastrement dans les joints de mortier ou de leur fixation au mur de fond. Il ne faut pas utiliser les attaches plates et ondulées. Si l'on utilise des attaches réglables en deux parties, la partie qui comporte le crochet doit être encastrée de 50 mm dans le placage. Les attaches ne doivent pas non plus avoir plus de 0,8 mm de jeu mécanique, ni se déformer de plus de 1,2 mm sous une charge de 0,5 KN en tension ou en compression. Cette dernière exigence est un minimum; il se peut qu'une plus grande rigidité soit exigée, lorsque de grands efforts sont transférés par les attaches (c'est le cas, par exemple, des réactions dans les attaches supérieures). Il importe de consulter la norme CAN3-A370-M84 de l'ACNOR pour connaître les coefficients de charge applicables. Les données des essais, y compris les renseignements concernant la résistance et les déformations pour l'éventail complet du réglage, doivent être exigées avant qu'aucune attache ne soit précisée dans le cahier des charges.

PROTECTION SUFFISANTE CONTRE LA CORROSION

Étant donné que le placage peut constituer un danger si les attaches se détériorent, les risques de corrosion causée par l'environnement doivent être soigneusement évalués. Dans bien des cas, il serait sage d'exiger des attaches non sujettes à la corrosion, malgré le léger coût additionnel qui en découlerait. (*Voir* la norme CAN3-A370 pour obtenir les renseignements relatifs à la protection requise contre la corrosion.)

ADAPTABILITÉ AUX MÉTHODES DE CONSTRUCTION

Le déroulement des travaux de construction et les exigences relatives à la disposition exacte des composants sont des facteurs de toute première importance dans le choix d'un type d'attache. Souvent, les attaches qui s'avancent dans l'espace prévu pour le placage dérangent le travail des poseurs de brique, qui eux ne se gênent pas pour les plier et les pousser hors du chemin.

Cela peut endommager l'attache et entraîner une perte de résistance et de rigidité. Pour prévenir ce problème, les constructeurs utilisent souvent un type d'attache en deux parties; une partie est placée dans le mur de fond et l'autre est insérée par après dans le placage, lorsque celui-ci est construit. Cette pratique de construire le placage de brique après le mur de fond a suscité la création de nombreux types d'attaches réglables. Celles-ci doivent conserver une résistance et une rigidité suffisantes sur toute la plage de réglage possible; de plus, le mouvement total de l'attache et la flexion du mur de fond doivent être contrôlés afin de limiter la fissuration du placage.

ADAPTABILITÉ AUX COMPOSANTS DU MUR, Y COMPRIS LES COMPOSANTS NON STRUCTURAUX

Les attaches doivent pouvoir s'adapter au déroulement général des travaux de construction, en tenant compte des diverses étapes de construction et des fonctions des composants qui leur sont rattachés ou qui agissent sur elles. Il s'ensuit que, si un pare-air ou un isolant sont installés sur la face extérieure du mur de fond, on ne doit pas se permettre de risquer de nuire au comportement des attaches en les pliant pour faire place à l'isolant ou au revêtement intermédiaire.

ROBUSTESSE SUFFISANTE POUR RÉSISTER AUX ALÉAS DE LEUR MANUTENTION ET DE LEUR UTILISATION SUR LE CHANTIER

Les attaches qui peuvent facilement être endommagées (courbées, soudures brisées, enduit anticorrosion enlevé) en cours de manutention ne conviennent pas aux conditions de travail sur un chantier. De même, celles qui sont difficiles à aligner ou à assembler risquent d'être endommagées en cours d'installation ou de perdre une bonne partie de leurs propriétés par suite de mauvais procédés d'installation.

5.7 DISPOSITIFS D'ANCRAGE

Dans le contexte de la présente étude, les dispositifs d'ancrage servent à raccorder le mur de fond ou le placage de brique à la structure principale (en utilisant, par exemple, des dispositifs se terminant en queue d'aronde, pour l'ancrage aux colonnes). Dans le cas du mur de fond, les dispositifs d'ancrage doivent donc pouvoir transférer les efforts de cisaillement horizontaux. De plus, au moins au sommet du mur, les dispositifs d'ancrage utilisés doivent permettre, dans les joints de dilatation, les mouvements verticaux non freinés. Lorsque le mur est raccordé à la structure sur les côtés, il se peut, mais non nécessairement, que les dispositifs d'ancrage doivent permettre les mouvements horizontaux, selon que le mur doit être construit serré contre la structure ou non. De toute façon, les dispositifs d'ancrage doivent permettre, sur les côtés du mur, les mouvements verticaux dus au retrait de la structure. Bien que les dispositifs d'ancrage puissent comporter des détails de construction difficiles à résoudre, du point de vue de la structure, les murs supportés sur tous les côtés ou, comme dans le cas des grandes fenêtres, supportés sur trois côtés y gagnent beaucoup en solidité structurale. La norme CAN3-A370 de l'ACNOR, *Éléments de liaison de la maçonnerie*, traite de questions de conception et de construction pour divers types d'ancrage, y compris ceux qu'on dit normalisés.

5.8 OUVERTURES

Le mur de fond doit être conçu pour porter les surcharges qui lui sont transférées par le bâti qui entoure l'ouverture, et celui-ci doit être solidement ancré au mur de fond. Dans la plupart des cas, le joint entre le bâtiment et le placage doit être un joint de dilatation et l'interaction du placage et du mur de fond doit se faire uniquement par l'intermédiaire des attaches supplémentaires installées autour de l'ouverture.

Généralement, le placage au-dessus de l'ouverture est supporté par une cornière en acier ou un autre élément d'acier de construction. Cette pièce repose sur le placage et ne doit pas être raccordée au mur de fond ni à la structure, à moins que la chose ne soit prévue, comme dans la figure 5.3.

Il faut se rappeler que les ouvertures représentent les parties les plus faibles du mur et que les risques de fissuration y sont très élevés. Pour prévenir ce phénomène, les joints de dilatation ménagés près des ouvertures doivent être soigneusement conçus, afin d'y empêcher l'accumulation de contraintes.

5.9 *EXIGENCES DE CONSTRUCTION PRINCIPALES*

En se basant sur l'examen qui précède et d'autres considérations, voici les principales exigences de construction à respecter.

- Avant de construire le PBr et le mur de fond, l'alignement, l aplomb et l'espacement des planchers, des colonnes et des autres éléments doivent être dans les limites acceptables. Si ce n'est pas le cas, les mesures susceptibles de corriger la situation doivent être prises avant de commencer la construction du PBr et du mur de fond; ces mesures doivent être approuvées par l'ingénieur ou par une autre autorité responsable des travaux auprès du propriétaire.
- Dans la construction du placage, les joints verticaux et les joints d'assise doivent être remplis et finis de façon à ce qu'ils soient bien solides et étanches. Un mortier de type N ou S doit être utilisé, comme prévu, lorsqu'un contrôle par la méthode proportionnelle ou par l'essai d'écrasement de cube est exigé.[13]
- Pour les cornières qui supportent le placage :
  - l'alignement des planchers ou des poutres de rives doit être suffisamment exact pour que le surplomb des briques du placage sur la cornière d'appui ne dépasse pas les tolérances acceptables (*voir* figure 5.5);
  - dans le cas des assemblages boulonnés, les ajustements sur place au moyen de cales ou par découpage au chalumeau doivent être approuvés par l'ingénieur. Si des cales sont nécessaires, il faut utiliser le type de cale illustré dans la figure 5.5;
  - lorsque de grandes différences existent dans l'alignement vertical, il se peut qu'il soit nécessaire de percer des trous pour installer de nouveaux dispositifs d'ancrage ou pour remplacer les cornières d'appui, afin que la surface du bâtiment soit plane et unie sur toute sa hauteur et sa largeur, tout en maintenant la largeur prévue pour la lame d'air;
  - lorsque des ajustements sont faits sur les lieux, des retouches de peinture ou d'autres procédés approuvés s'imposent, afin de rétablir l'enduit de protection des cornières contre la corrosion;
  - si les dispositifs d'ancrage ont été installés au moment de la coulée du béton, il est particulièrement important, étant donné qu'on ne peut en régler la position après coup, de mesurer les parties construites du bâtiment et de corriger toutes les anomalies avant d'installer le système mural; et
  - il est essentiel de laisser, au sommet du placage et du mur de fond, l'espace libre prévu pour les mouvements. Les cornières doivent être fermement ancrées à la structure afin de maintenir cet espace, et celui-ci doit être libre de tout mortier.

- Lorsque le placage repose sur la dalle de plancher, la tolérance entre la rive de la dalle et le surplomb du placage sur la cornière est très mince. Non seulement le placage doit avoir une surface d'appui suffisante sur la cornière, mais le sommet du placage doit être entré suffisamment sous la dalle supérieure pour ne pas être directement exposé à l'eau de pluie qui ruisselle à la surface du bâtiment. Certaines des exigences de construction sont illustrées dans la figure 5.8. Malgré la popularité de cette méthode de construction dans certaines parties du Canada, les problèmes d'infiltration d'eau[14] et de pont thermique associés au fait que le placage repose sur la dalle de plancher la rendent maintenant moins intéressante. Cette méthode, illustrée à titre documentaire, n'est pas recommandée.
- Exigences relatives à l'installation des attaches :
  - les attaches et les armatures de joint doivent être bien noyées dans le béton.[15] (La pratique qui consiste à placer une attache sur un élément de maçonnerie nu et à le couvrir ensuite de mortier est inacceptable; chaque attache doit être complètement noyée dans un joint de mortier.);
  - les attaches endommagées ne doivent pas être utilisées, et celles qui sont installées ne doivent pas être pliées ni abîmées de quelque façon que ce soit pendant les travaux. (La figure 5.9 illustre certains problèmes rencontrés dans l'installation des attaches.); et
  - il faut respecter l'espacement prévu pour les attaches, veiller à en installer un plus grand nombre autour des ouvertures, et s'assurer que la rangée supérieure des attaches est bel et bien installée et suffisante. La figure 5.10 illustre certains points qui requièrent une attention particulière.
- Les linteaux au-dessus des fenêtres, des portes et des autres ouvertures doivent être en entier dans le placage, et non attachés au mur de fond ni à la structure. Si un joint de dilatation vertical coïncide avec une extrémité du linteau, il faut prévoir l'espace voulu pour permettre le mouvement, comme illustré dans les dessins de conception. La figure 5.11 comporte quelques notes au sujet de diverses méthodes.
- Le mur de fond doit être ancré à la structure à sa base et sur les côtés ou au sommet, mais il doit aussi permettre aux joints de dilatation horizontaux et verticaux de remplir leur rôle. Cette question sera traitée plus en détail dans les chapitres 6 et 7, où il sera question des murs de fond en MBé ou à OA.
- La brique doit être conforme aux normes canadiennes,[16,17] et être choisie parmi les types de brique dont le bon rendement à l'usage est prouvé. Il n'est pas recommandé d'utiliser la brique vernissée.

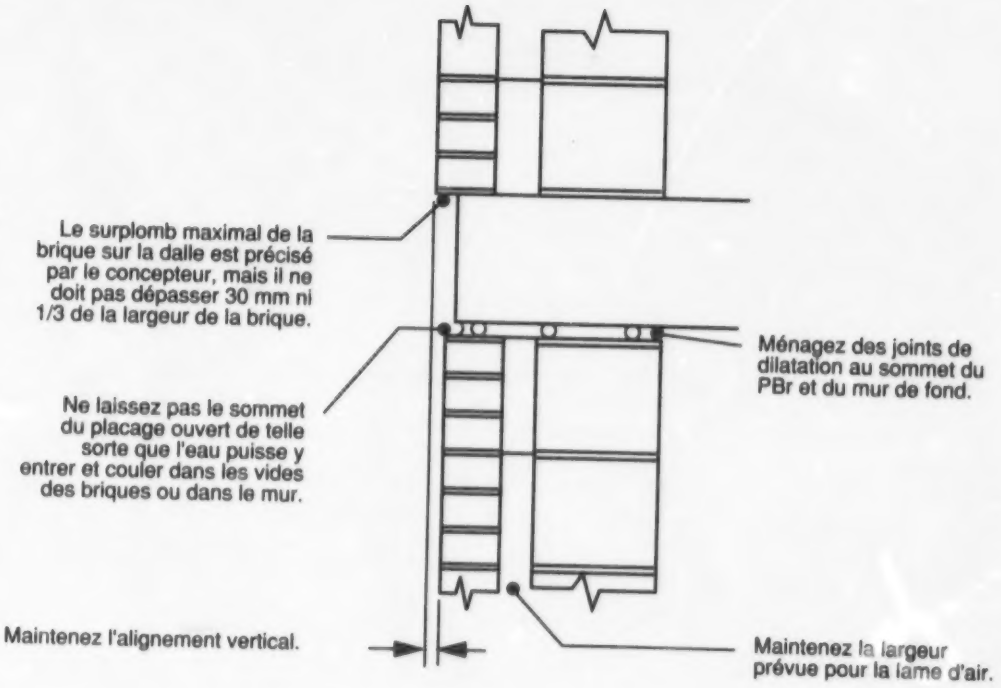


Figure 5.8 Illustration des questions reliées à la tolérance, lorsque le PBr repose sur les dalles de plancher

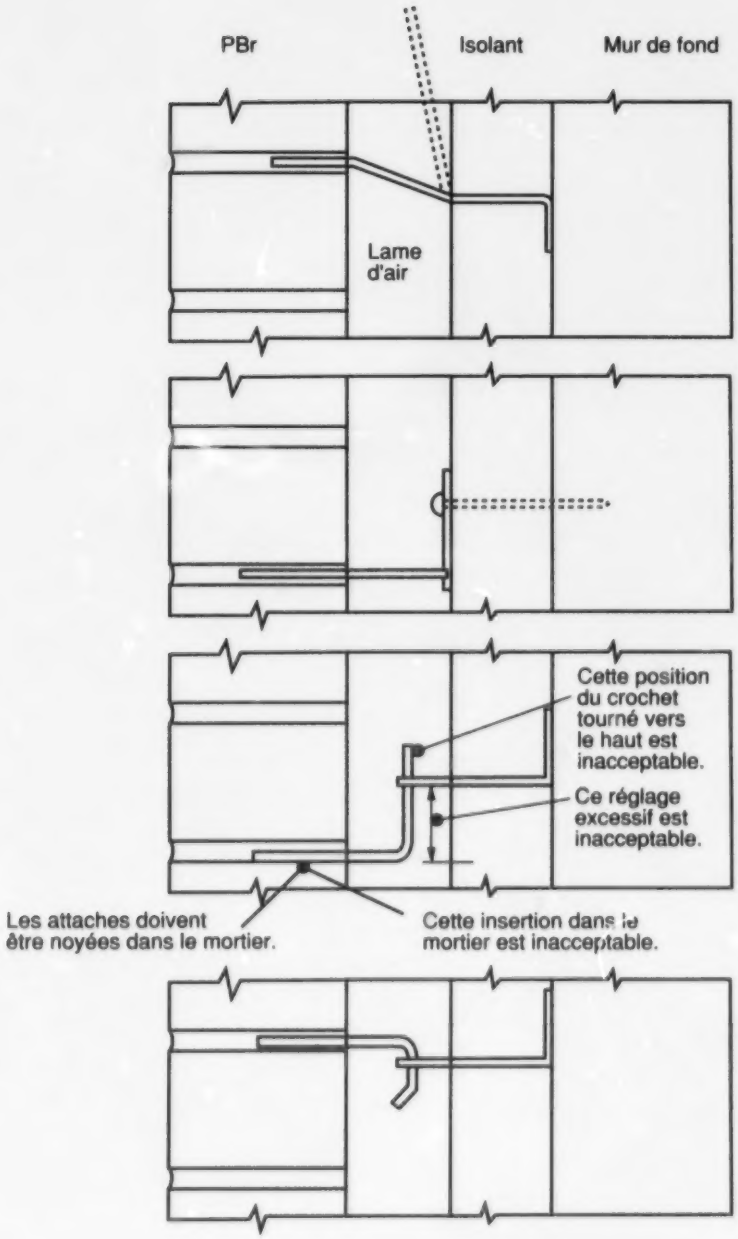
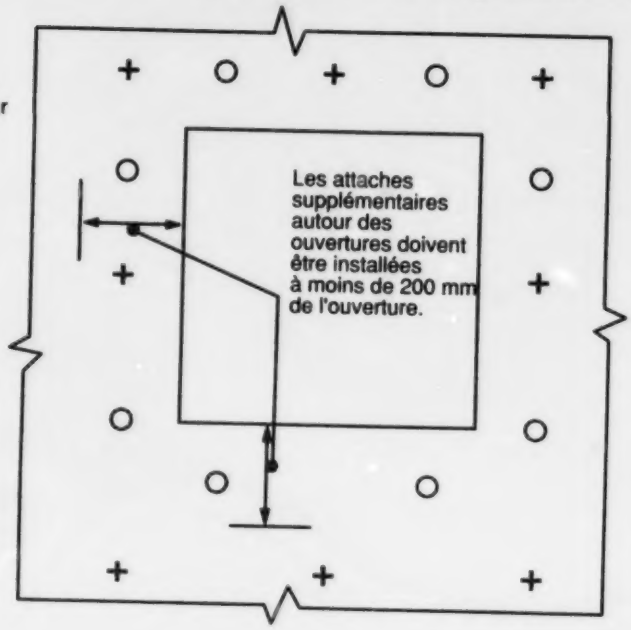


Figure 5.9 Points à surveiller dans l'installation des attaches

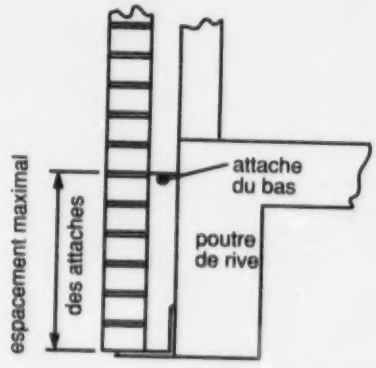
a) Installation d'attaches supplémentaires autour des ouvertures



+ espacement normal des attaches

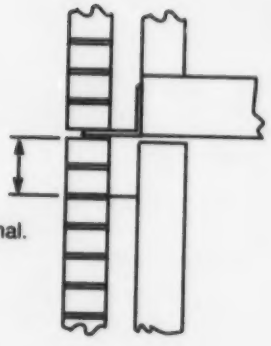
○ attaches supplémentaires autour des ouvertures

b) Position de l'attache du bas



Lorsque la dalle de plancher comporte d'épaisses poutres de rive, il se peut qu'on doive fixer l'attache inférieure au système de plancher afin de ne pas dépasser l'espacement maximal permis.

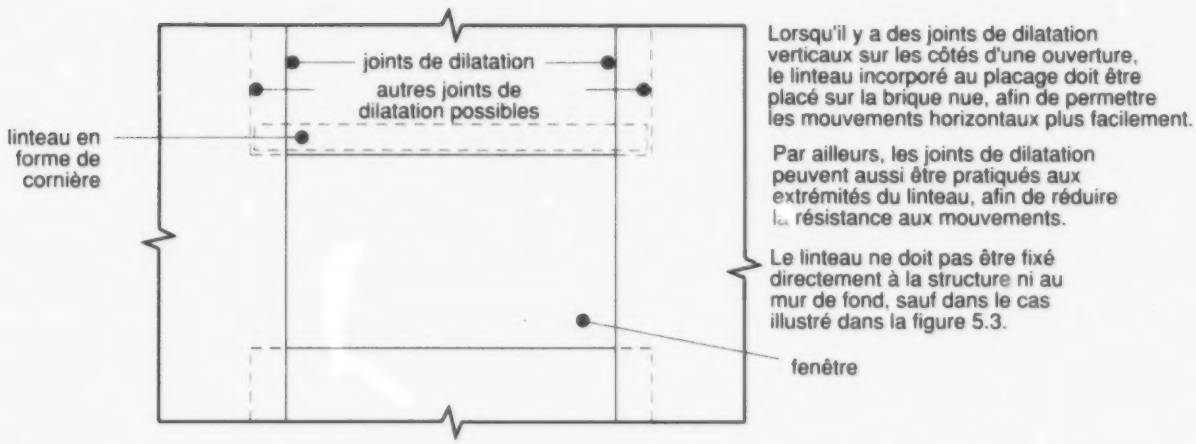
c) Position de l'attache du haut



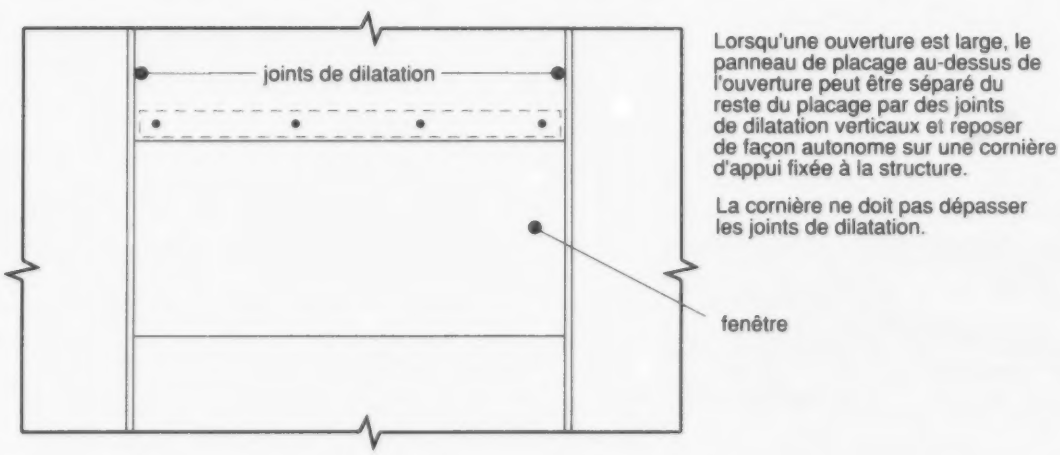
La distance maximale entre l'attache du haut et le sommet du placage est égale à la moitié de l'espacement maximal normal.

Il n'est pas rare que ce soit l'attache du haut qui doive transférer au mur de fond le plus gros de l'effort qui s'exerce sur lui. Il est donc particulièrement important que cette attache soit placée au bon endroit et en parfait état.

Figure 5.10 Aspects particuliers de l'installation des attaches



a) Linteau incorporé dans le placage



b) Linteau constitué par une cornière qui supporte, de façon autonome, le placage au-dessus de l'ouverture

Figure 5.11 Façons de supporter le placage au-dessus des ouvertures

RÉFÉRENCES

1 Suter, G. T., R. G. Drysdale et H. Keller, *Brick Veneer/Steel Stud Wall Systems - Design and Construction Considerations*, Proceedings of Fourth Conference on Building Science and Technology, Toronto, février 1988, pp. 179-200.

2 Association canadienne de normalisation, CAN3-A370-M84, *Éléments de liaison de la maçonnerie*, ACNOR, Rexdale, 1984.

3 Brick Institute of America, *Brick Veneer Steel Stud Wall Panels*, BIA Technical Notes on Brick Construction No. 28B, février 1987.

4 Brick Institute of America, *Wall Ties For Brick Masonry*, BIA Technical Notes on Brick Construction No. 44B, mars 1987.

5 British Standards Institution, BS 1243 : 1978, *Metal Ties for Cavity Wall Construction*, British Standard, Londres BSI, 1978.

6 de Vekey, R. C., *Performance Specifications for Wall Ties*, Building Research Establishment Information Paper IP4/84, Garston BRE, 1984.

7 Drysdale R. G. et M. J. Wilson, *A Report on Behaviour of Brick Veneer/Steel Stud Tie Systems*, présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, Ontario, mars 1989.

8 Grimm, C. T., *Metal Ties and Anchors for Brick Walls*, Journal of the Structural Division ASCE, vol. 102, n° ST4, avril 1976.

9 Moore, J. F. A., *The Performance of Cavity Wall Ties*, Building Research Establishment Current Paper CP3/81, Garston, BRE, 1981.

10 Drysdale, R. G. et M. J. Wilson, *A Report on Behaviour of Brick Veneer/Steel Stud Tie Systems*, présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, Ontario, mars 1989.

11 Heidersbach, R. et J. Lloyd, *Corrosion of Metals in Concrete and Masonry Buildings*, Paper 258, Corrosion/85, NACE, Houston, mars 1985.

12 Brick Institute of America, *Brick Veneer Existing Construction*, BIA Technical Notes on Brick Construction No. 28A, février 1987.

13 Association canadienne de normalisation, CSA Standard A179, *Mortar and Grout for Unit Masonry*, ACNOR, Rexdale, 1976.

14 Water Penetration Study Committee, *Recommended Details and General Information to Overcome Water Penetration and Vapour Movement in Exterior Masonry Wall Systems*, Borough of Scarborough.

15 Brick Institute of America, *Brick Veneer New Construction*, BIA Technical Notes on Brick Construction, 28 juillet 1986.

16 Association canadienne de normalisation, CAN/CSA-A82.1M87, *Burned Clay Brick (Solid Masonry Units Made from Clay or Shale)*, ACNOR, Rexdale, 1987, 17 pages.

17 Association canadienne de normalisation, CAN3-A82.2-M1984, *Méthodes d'échantillonnage et d'essai de la brique*, ACNOR, Rexdale, 1984.

CHAPITRE 6

SYSTÈME MURAL PBr-MBé : EXIGENCES STRUCTURALES

6.1 INTRODUCTION

Les dispositions du *Code national du bâtiment* relatives à la conception des murs à placage de brique sur mur de fond en blocs de béton sont contenues dans la norme CAN3-S304 de l'ACNOR, pour les conditions de charge examinées dans la section 3.3. L'application de ces dispositions exige une certaine interprétation, ce qui, ajouté au manque de compréhension claire possible du comportement de la maçonnerie par certains concepteurs, a donné lieu à toute une variété de détails de conception et de construction, dont certains ont eu un rendement assez quelconque. Ce qui manque souvent, c'est une définition claire du système mural et des hypothèses qui en sous-tendent la conception. Cette définition est nécessaire pour que les intéressés puissent détecter ce qui, dans la conception et les techniques de construction, va à l'encontre du comportement que l'on attend d'un système mural.

6.2 MUR DE FOND EN MAÇONNERIE DE BÉTON

Les spécifications relatives à la fabrication des blocs de béton sont données par l'Association canadienne de normalisation (ACNOR).[1]

Le mur de fond en MBé doit être conçu de façon à résister aux surcharges latérales, ce qui se fait souvent en s'appuyant sur les règles empiriques appliquées à la maçonnerie non armée et contenues dans la section 6 de la norme CAN3-S304, où un rapport limite hauteur-épaisseur de 20 est précisé, avec des épaisseurs minimales de 140 ou 190 mm selon que le bloc de béton est solide ou creux. Ceux qui suivent cette méthode de conception doivent s'assurer que la limite susmentionnée est respectée. Mais le mur de fond en maçonnerie de béton non armée peut aussi être conçu en s'appuyant sur les données d'une analyse technique, de façon à ce qu'il résiste aux surcharges dues au vent et aux séismes. Il peut être conçu dans sa portée verticale ou horizontale, ou les deux, selon l'état et la disposition des supports autour des ouvertures. Il importe de noter que la présence de supports sur plus de deux côtés des ouvertures peut donner beaucoup plus de résistance au mur de fond, qui alors ne cédera pas dès l'apparition de la première fissure.

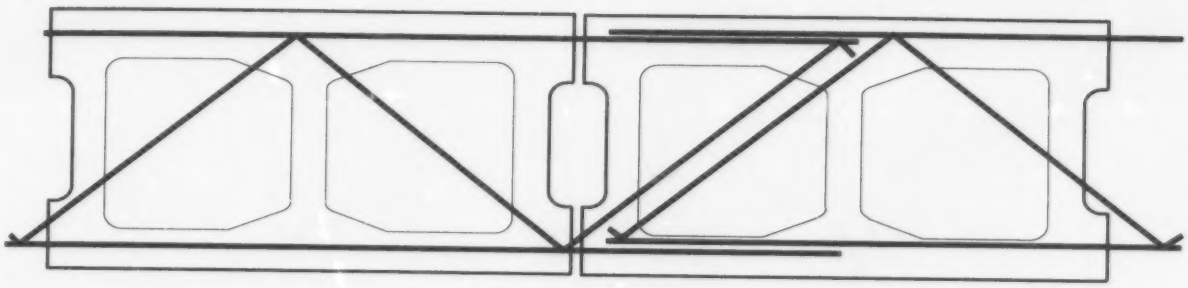
Dans certains cas, il peut être souhaitable et même nécessaire, comme dans les zones sismiques 4 et plus, d'armer le mur de fond en blocs de béton. Dans ces zones, une quantité minimale d'acier de 0,001 0 A_g doit être placée dans deux directions, à tous les 1,2 m au moins verticalement, et avec au moins 1/3 de l'acier orienté dans chaque sens. Dans les zones sismiques 3 ou moins, une quantité minimale d'acier de 0,000 5 A_g peut être entièrement orientée dans un seul sens, pourvu que l'acier soit continu entre les supports latéraux, installé de façon à renforcer adéquatement le mur contre les surcharges latérales, et espacé à tous les 400 mm au moins verticalement, lorsque les armatures sont utilisées aux joints de mortier. Habituellement, une armature supplémentaire équivalant à une barre de 15 mm au moins doit être installée autour de toutes les ouvertures.

L'installation d'armatures dans les joints est la méthode de construction la plus simple, mais il faut veiller particulièrement au recouvrement des barres d'armature et au décalage des recouvrements. Comme on le voit dans la figure 6.1, on recommande que le recouvrement des barres d'armature soit d'au moins 150 mm et que le décalage des recouvrements d'une armature de joint à l'autre soit d'au moins 800 mm. De plus, si l'on compte sur l'armature de joint pour prévenir la flexion horizontale du mur sous l'effet des surcharges latérales, le mur doit être supporté et ancré aux extrémités. Par ailleurs, un chaînage horizontal au sommet et à mi-hauteur du mur (espacement de 1,2 m) peut offrir une méthode de construction pratique qui permet de placer l'armature et les dispositifs d'ancrage des extrémités dans le coulis au fur et à mesure que la construction progresse.

Aux joints de rupture verticaux, il est recommandé que l'armature de joint soit discontinuée afin que le mouvement ne soit aucunement freiné. Lorsqu'une exigence structurale demande qu'un effort de cisaillement horizontal soit transféré au-delà du joint ou à la structure de support ou au mur de fond qui se continue, le dispositif doit être détaillé afin d'éviter que des contraintes se développent dans le plan. Les figures 4.8 et 6.2 contiennent des exemples de tels détails.

L'utilisation d'une armature verticale a beaucoup d'avantages sur le plan structural, non seulement parce que la distance du plancher au plafond est habituellement beaucoup plus petite que la distance horizontale, mais aussi parce que les ouvertures dans le mur peuvent interrompre la flexion horizontale. Cependant, ce mode de construction demande beaucoup de soin. Typiquement, la barre d'armature doit être installée au moment de la pose du premier rang de blocs et entourée graduellement de coulis, au fur et à mesure que la construction progresse. Pour s'éviter des difficultés dans la pose des blocs une fois l'armature verticale installée et ne pas avoir à introduire les barres dans les vides des blocs à la manière habituelle, trois solutions sont suggérées.

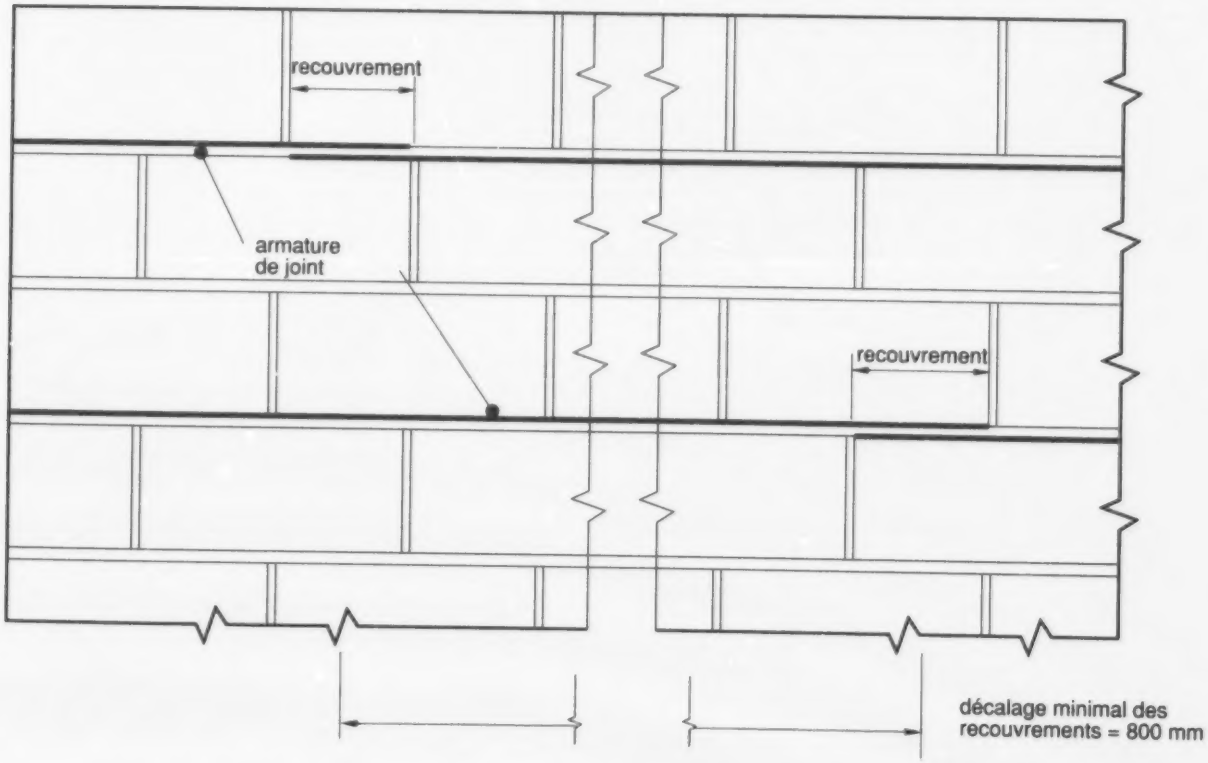
1) On peut utiliser les blocs A ou H qu'on trouve sur le marché, qui permettent de loger les barres d'armature dans l'extrémité ouverte des blocs et de les entourer de coulis, comme indiqué dans la figure 6.3 a) et b) .



Dans le cas des armatures de joint en forme d'échelle, les tiges transversales doivent être à 200 mm de l'extrémité du recouvrement.

recouvrement minimal de 150 mm

a) Recouvrement minimal des armatures de joint à enture



b) Décalage minimal des recouvrements des armatures de joint à enture

Figure 6.1 Exigences relatives à l'installation des armatures de joint

2) L'armature verticale peut être logée dans les vides des blocs au joint vertical, si ceux-ci sont du type bloc avec clef d'extrémité, les blocs étant alors empilés les uns sur les autres, sans décalage des joints, comme illustré dans la figure 6.3 c) . L'utilisation de l'appareillage en pile nécessite aussi une armature horizontale et, puisqu'il existe des plans verticaux faibles et continus, les possibilités de fissuration sont plus grandes; mais bien qu'elle soit inévitable, la fissuration peut être freinée par une armature de joint horizontale ou des chaînages horizontaux.

3) Si on ne peut trouver de blocs A ou H sur le marché et que l'appareillage en pile est inacceptable, on suggère de briser ou, de préférence, de couper l'extrémité des blocs traditionnels; il est alors facile d'introduire les barres d'armature dans les vides des blocs.

Quelle que soit la méthode utilisée, le scellement de la barre dans le dernier bloc du haut est toujours une tâche difficile, parce que la distance entre le dessus du bloc et le dessous de la dalle de plancher ou poutre de rive n'est que de quelques millimètres. C'est pourquoi le bloc de ce dernier rang doit être rempli d'un coulis ou d'un mortier sec. Bien qu'il soit important de remplir complètement le vide où se trouve la barre d'armature, il est aussi important de ne pas trop le remplir, afin de ne pas réduire la largeur effective du joint de dilatation illustré dans la figure 6.4. Si une armature verticale est installée, le mur doit être ancré au sommet et à la base, comme on le verra dans la prochaine section.

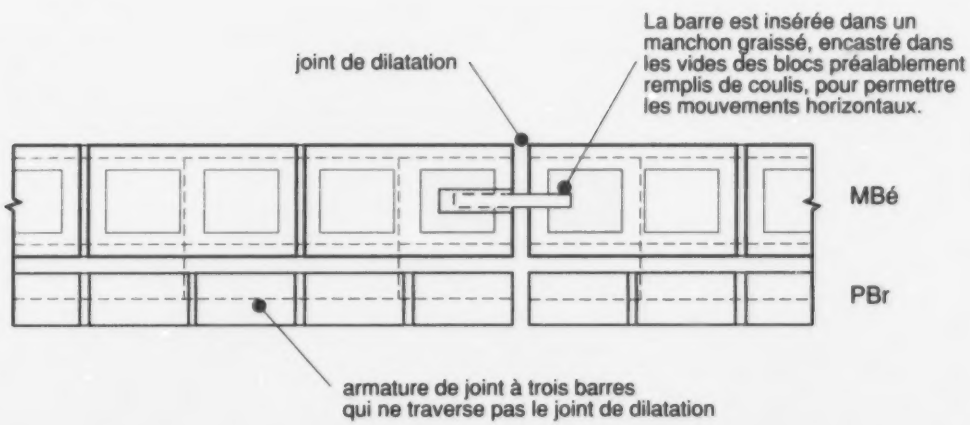
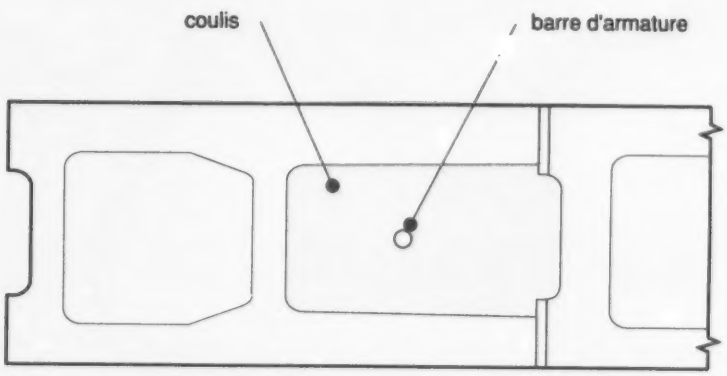
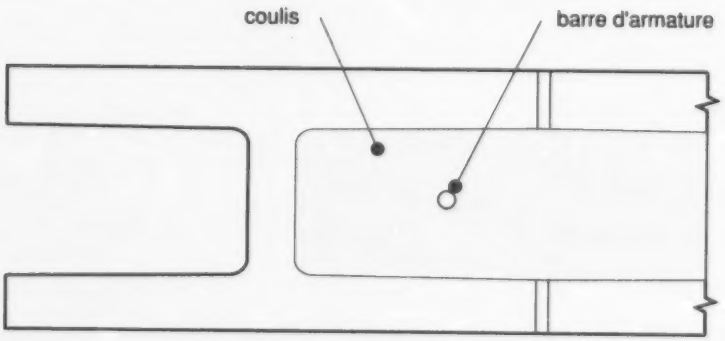


Figure 6.2 Détail du transfert d'un effort de cisaillement au-delà d'un joint de dilatation d'une MBé

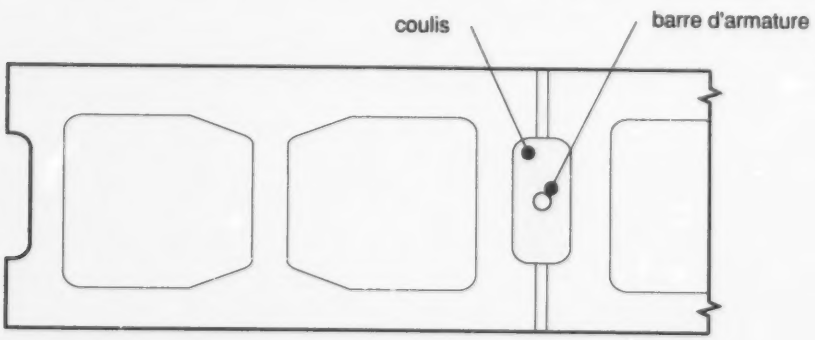


a) Utilisation de blocs A à extrémité ouverte, pour faciliter la pose des barres d'armature dans les blocs



b) Utilisation de blocs H à extrémités ouvertes, pour faciliter la pose des barres d'armature dans les blocs

(Note : Cette méthode donne un mur entièrement rempli de coulis.)



c) Installation des barres d'armature dans les joints verticaux des blocs empilés les uns sur les autres

Figure 6.3 Diverses solutions pour installer une armature verticale dans une MBé

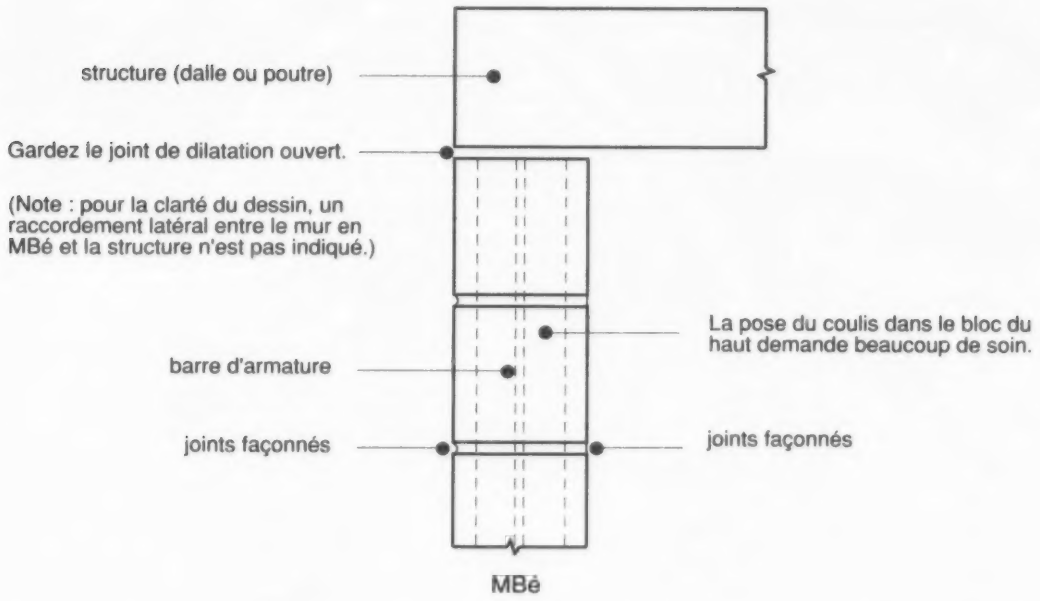


Figure 6.4 Exigences relatives au joint de dilatation entre la structure et le mur de fond en MBé

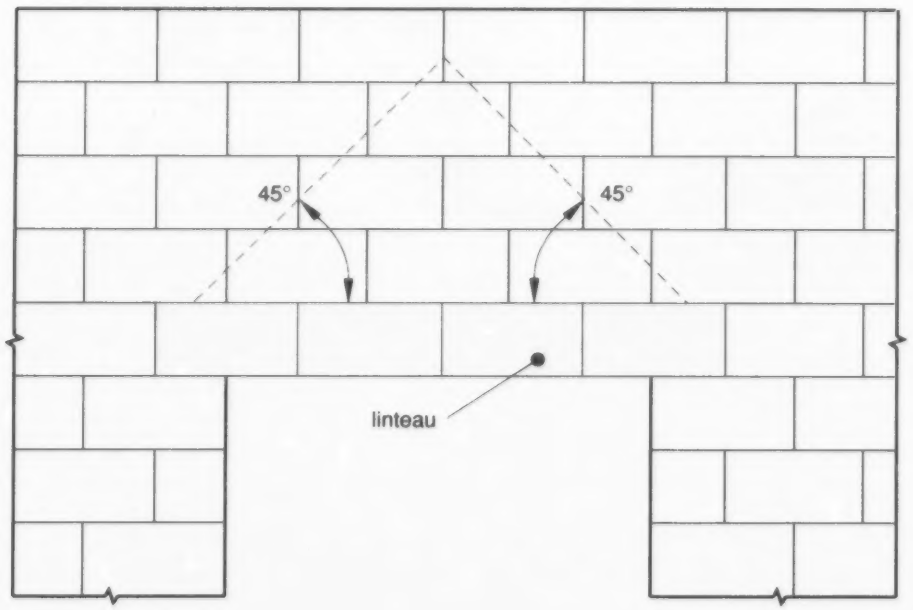


Figure 6.5 Les lignes à 45° définissent la charge qui repose sur le linteau

Bien qu'on puisse construire le mur de fond en MBé de l'intérieur ou de l'extérieur, il est important que les joints de mortier soient façonnés, afin de les rendre plus étanches à l'air et à l'eau, comme on le voit dans la figure 6.4. Les linteaux au-dessus des ouvertures peuvent être constitués de chaînages horizontaux, de profilés en acier ou d'éléments de béton préfabriqués. Sauf dans le cas d'un mur porteur, la charge de calcul à prévoir est égale au poids des blocs compris dans un triangle isocèle de 45° au-dessus du linteau, comme indiqué dans la figure 6.5.

6.3 *ANCRAGE À L'OSSATURE*

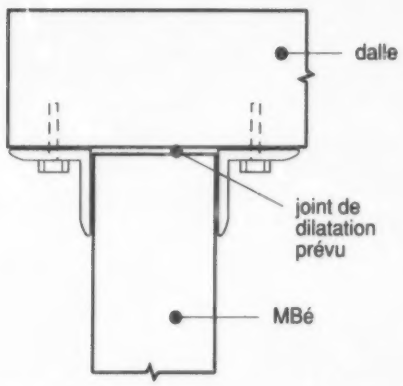
Le mur de fond en MBé doit transférer les surcharges latérales à la structure de support ou, inversement, les dispositifs de raccordement à la structure doivent offrir un support au mur. L'emplacement de ces dispositifs de raccordement doit correspondre à la direction de la résistance à la flexion.

Si la structure est une ossature résistant aux moments, le mur de fond en MBé doit permettre tout glissement entre étages ne dépassant pas 1/500 de la hauteur de l'étage, et le joint vertical ne doit contenir aucun matériau susceptible de transférer des charges. Par conséquent, si le mur est ancré à ses extrémités, les dispositifs d'ancrage doivent être capables de transférer les efforts de cisaillement hors plan, mais ne doivent offrir aucune résistance aux mouvements horizontaux en plan de l'ossature. Pour les structures comportant des murs de contreventement plus rigides, la pratique courante consiste à construire le mur de blocs serré contre la structure de soutien, ce qui entraîne normalement la présence d'un joint de mortier vertical.

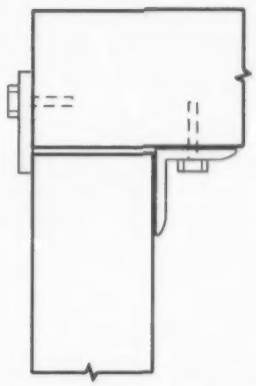
Cependant, lorsque les extrémités du mur doivent être supportées, il faut, à cause du retrait et du mouvement général du bâtiment, utiliser des dispositifs d'ancrage mécaniques, comme des lames se terminant en queue d'aronde ou des chevilles enfoncées mécaniquement, afin d'assurer un raccordement ferme du mur, comme on le voit dans la figure 6.2.

Dans le cas des murs en maçonnerie de béton non armée, il suffit normalement de lier le mur au plancher au moyen d'un lit de mortier et de soutenir le sommet du mur à l'aide de cornières de fixation, comme illustré dans la figure 6.6. L'erreur courante, qui consiste à insérer des cales ou du mortier dans le joint de dilatation, a pour effet d'empêcher le mouvement et peut entraîner des dommages au mur ou à la structure. Les dispositifs tels que les cornières de fixation doivent être utilisés afin de permettre la flexion verticale du plancher. De plus, lorsque la structure est une ossature capable de résister aux moments, le support supérieur doit aussi permettre le mouvement horizontal de l'ossature dans le plan; sinon, le mur serait soumis à de grands efforts de cisaillement. Si l'ossature fléchit, le mur de fond peut subir de sérieux dommages, comme on le voit dans la figure 6.7.

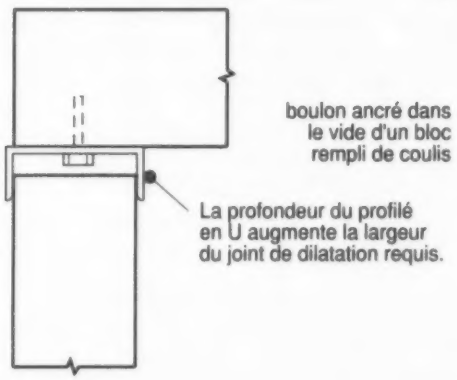
Dans le cas d'un mur en maçonnerie de blocs armée, la base du mur doit être ancrée à l'aide de chevilles coïncidant avec l'armature verticale. Au sommet du mur, les mouvements verticaux peuvent se produire grâce à des cornières de fixation. Celles-ci doivent être placées vis-à-vis des barres noyées dans le coulis.



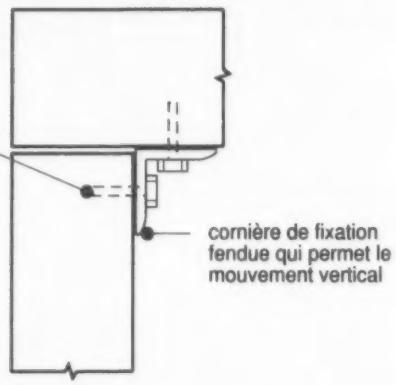
a) Cornières de fixation (elles sont faciles à poser, mais exigent que le mur soit en retrait par rapport à la rive de la dalle)



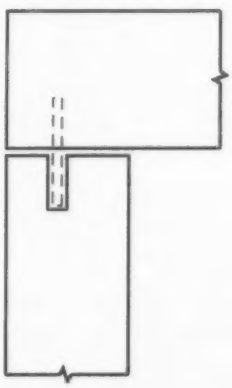
b) Cornière et plaque de fixation (elles permettent d'aligner le mur avec la rive de la dalle, mais peuvent rendre difficile la mise en place de la brique sur la cornière d'appui)



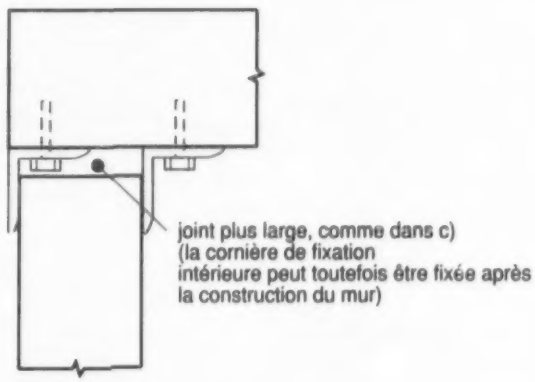
c) Utilisation d'un profilé en U (il doit être fixé avant la pose du bloc, et il constitue un pont thermique à travers le mur)



d) Cornière de fixation fendue (le serrage du boulon doit permettre le mouvement)

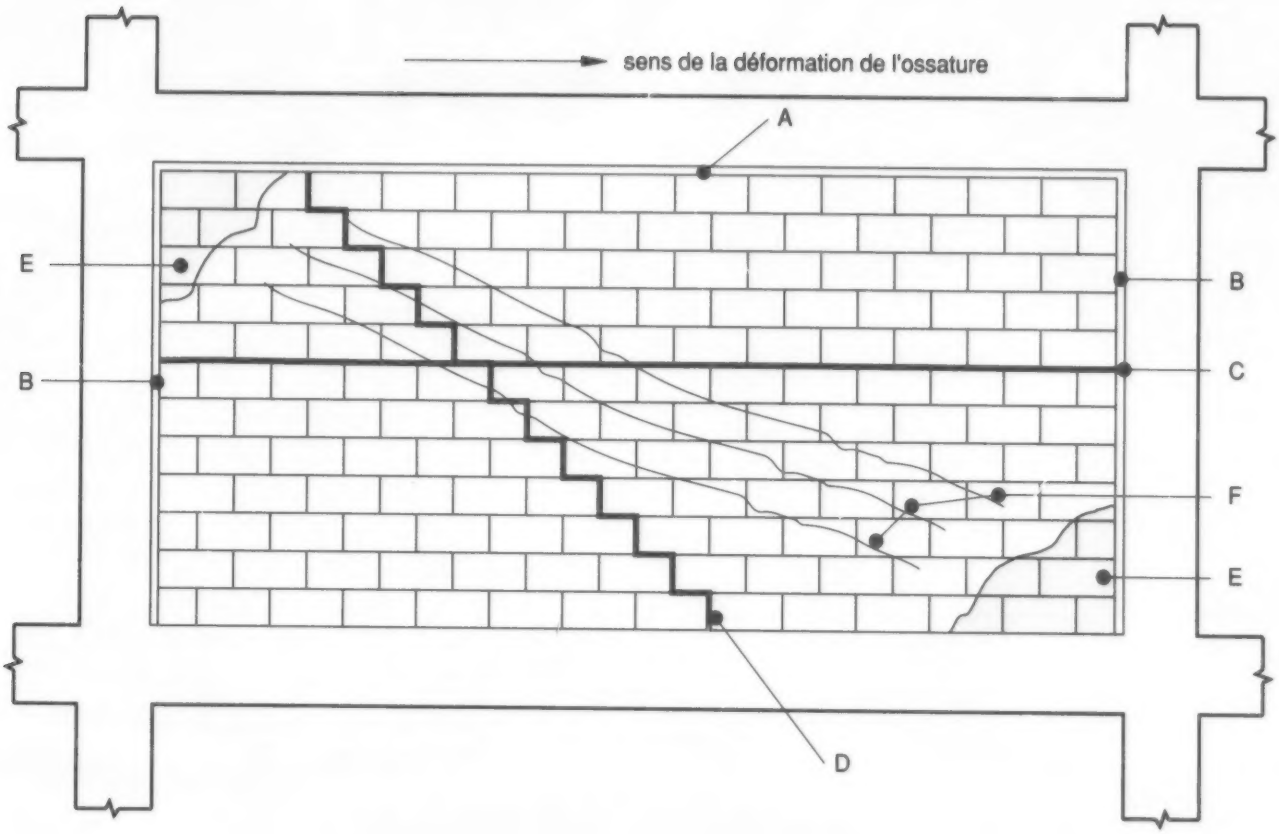


e) Boulon d'ancrage dans un manchon (il est plutôt difficile de placer le boulon et d'introduire le coulis autour du manchon)



f) Utilisation de deux cornières de fixation

Figure 6.6 Diverses façons de soutenir le sommet d'un mur de fond en MBé



a) Un joint de dilatation horizontal rempli ou un dispositif de raccordement mécanique ont pour effet de créer un effort de cisaillement dans le mur si l'ossature se met à pencher de côté, provoquant ainsi le glissement du mur le long d'un joint d'assise (C) ou sa fissuration en diagonale (D).

b) Si les joints verticaux sont remplis, ils obligent l'ossature, du fait qu'elle penche de côté, à appuyer contre le mur, ce qui peut provoquer l'une ou l'autre des fissurations par cisaillement indiquées ci-dessus, ou l'écrasement des blocs dans les angles (E). La fissuration en diagonale d'un angle à l'autre est aussi possible (F).

Figure 6.7 Détérioration possible d'un mur de fond en MBé, lorsque les joints de dilatation ne remplissent pas leur rôle

6.4 *PLACAGE DE BRIQUE*

Dans le cas d'un placage de brique classique de 90 mm et d'un mur en blocs de béton de 20 et 15 cm, on a constaté que la portion de la surcharge latérale maximale que le placage supporte avant sa fissuration s'échelonne entre 10 et 30 p. 100, selon les moments d'inertie et les modules d'élasticité relatifs. Par conséquent, avant que le mur de blocs ne se fende sous l'effet des charges de flexion, les efforts de tension internes du placage de brique sont très faibles.

Cependant, dans le cas d'un maçonnerie de blocs armée où la fissuration doit se produire pour créer la tension de calcul dans l'armature, le mur de fond est beaucoup plus flexible et il est donc bien plus vraisemblable que le placage de brique se fissure sous l'effet de la flexion. Une estimation prudente du pourcentage de la charge que le placage supporte peut être effectuée à l'aide du moment d'inertie de la surface transformée de la section fissurée du mur de blocs et le moment d'inertie du placage de brique non fissuré. Le rapport entre la valeur EI du PBr et la somme des valeurs EI du PBr et de la MBé donne la proportion de la charge supportée par le placage. (Pour obtenir de plus amples détails, *voir* la section 5.3.) On peut obtenir des résultats plus précis en procédant à une analyse qui tient compte de la rigidité des attaches, de l'état du support et de l'étendue des fissures dans le mur de fond.

Si le PBr et le mur de fond en MBé sont construits en même temps, on peut utiliser les tiges transversales des armatures de joint du type échelle ou ferme à trois barres comme attaches; une barre est alors encastrée dans le placage de brique, comme illustré dans la figure 6.2. On peut aussi se servir des armatures de joint comme dispositifs d'attache lorsque le placage est construit après le mur de blocs, mais cette méthode n'est pas recommandée d'un strict point de vue pratique, parce que le maçon doit alors construire le placage de brique sous la barre qui dépasse et l'enfoncer ensuite dans le lit de mortier afin de pouvoir poser le rang de briques suivant. De même, les attaches rigides, comme les attaches en Z ou les attaches rectangulaires, ne sont recommandées que si le placage et le mur de fond sont construits en même temps. L'utilisation d'attaches rigides, dans le cas où le placage est construit après le mur de fond, doit généralement être évitée parce qu'elle rend assez difficile la tâche de faire concorder les rangs de briques et de blocs. Dans le cas d'une maçonnerie de blocs de béton creux, le concepteur doit préciser les détails à respecter pour bien ancrer les attaches dans le mortier du joint d'assise. La construction doit aussi garantir que l'ancrage est bien réalisé.

6.5 *EXIGENCES DE CONSTRUCTION PRINCIPALES*

En se basant sur l'examen qui précède et sur d'autres considérations, voici les principales exigences structurales à respecter pour la construction du système mural PBr-MBé.

- Les blocs de béton doivent être gardés secs, afin de réduire le retrait de la maçonnerie au minimum.
- La composition du mortier prévue doit être respectée, afin qu'il adhère bien aux éléments de maçonnerie.[2]
- Le coulis doit être suffisamment fluide, c'est-à-dire avoir un coefficient d'affaissement de 250 mm, et être vibré ou brassé de façon à ce qu'il remplisse tous les vides prévus.
- Il est essentiel d'installer toutes les armatures verticales et horizontales prévues, afin que le mur ait la solidité de calcul et, dans le cas de l'enrobage, la durabilité prévue. Il est donc essentiel que la jonction des barres d'armature, le recouvrement des armatures de joint (150 mm généralement) et le décalage des recouvrements (800 mm généralement) soient faits exactement comme prescrit.
- Il est primordial, pour le bon comportement du système mural à long terme, que les attaches soient bien placées. Il est tout particulièrement important de bien ancrer les attaches et de leur éviter tout dommage, tel que des pliures qui réduisent considérablement leur résistance.
- Il est essentiel que les dispositifs d'ancrage du mur soient bien placés, afin que celui-ci soit bien supporté et capable de résister aux surcharges dues au vent et aux séismes.
- Les joints de dilatation doivent être libres de tout matériau qui pourrait gêner le mouvement. Comme expliqué dans les chapitres 4 et 15, les joints de dilatation peuvent être à l'origine de très sérieux dommages s'ils sont mal faits.
- À moins que ce ne soit clairement indiqué sur les dessins, l'armature de joint ne doit pas être prolongée au-delà des joints de dilatation.
- Il est important que le travail de maçonnerie, y compris le remplissage et le façonnage des joints de mortier, soit bien fait, puisque le système mural PBr-MBé est destiné à être exposé à des conditions environnementales de surcharges et d'humidité pendant des décennies.[3]
- Aucun matériau ne peut être remplacé par un autre sans l'approbation du concepteur. En particulier, les attaches doivent être munies de l'enduit de protection prévu contre la corrosion.
- L'enduit de protection contre la corrosion ne doit pas être endommagé pendant la construction.

RÉFÉRENCES

1 Association canadienne de normalisation, CAN3-Série A165-M85, Série-M85, *Normes ACNOR sur les éléments de maçonnerie en béton*, ACNOR, Rexdale, 1985, 51 pages.

2 Drysdale, R. G. et E. A. Gazzola, *Influence of Mortar Properties on the Tensile Bond Strength of Brick Masonry*, Proceedings of Seventh International Brick Masonry Conference, Melbourne, Australie, 1985.

3 Association canadienne de normalisation, CAN3-A371-M84, *Mise en œuvre de la maçonnerie pour les bâtiments*, ACNOR, Rexdale, 1984, 50 pages.

CHAPITRE 7

SYSTÈME MURAL PBr-OA : CONSIDÉRATIONS STRUCTURALES

7.1 INTRODUCTION

L'ossature en poteaux d'acier pour la construction du mur de fond d'un système mural à placage de brique a gagné beaucoup de popularité en raison de son caractère économique et de sa légèreté. Malheureusement, le développement et l'utilisation rapides de ce système mural ont précédé la recherche technique relative à plusieurs aspects de la conception. Les méthodes de conception et de construction officielles qui ont été mises au point pour protéger la sécurité et l'investissement du public n'ont pas été adoptées partout; certains aspects n'en ont même pas encore été examinés à fond. Comme les entrepreneurs ne peuvent se référer à un ensemble exhaustif de directives de conception, ils font typiquement appel aux concepteurs qui possèdent des connaissances et une expérience particulière dans la conception d'ossatures en acier profilé à froid. Quelques cas de bâtiments dégradés, qui représentent souvent les pires exemples de médiocrité en fait de qualité de construction et de détails de conception, ont servi à attirer l'attention du monde de la construction en Amérique du Nord sur cette question. C'est pourquoi des pressions se sont exercées pour qu'un ensemble officiel d'informations et de conseils soit fourni aux concepteurs et aux entrepreneurs. Au cours des dernières années, les fabricants de composants pour ossatures murales en poteaux d'acier, les fabricants d'attaches, et les fabricants de matériaux isolants et de produits utilisables comme pare-air ou pare-vapeur ont tous relevé le défi et y sont allés de leurs idées et de leurs produits, pour le grand bien de ce domaine de la construction. Grâce aussi à des associations telles que l'ICTAB, les intéressés disposent maintenant de l'information pertinente.[1]

Le présent document d'orientation, à partir des renseignements les plus récents qui existent et de discussions avec les experts de l'industrie et d'autres conseillers techniques, présente un ensemble de données de base applicables aux règles de calcul de ce type de système mural, ainsi que diverses autres solutions. Lorsque la chose est possible, des recommandations précises sont faites, mais dans d'autres cas, le choix de la méthode est laissé au concepteur.

Il nous faut mentionner les chapitres 3, 4 et 5, qui traitent des éléments de conception communs aux systèmes muraux PBr-OA et PBr-MBé. À ce point de vue, il est important de rappeler que les observations et recommandations concernant les règles de calcul du mur de fond à OA ont spécifiquement trait à son usage comme support d'un placage de brique et que, par conséquent, il se pourrait qu'elles ne conviennent pas dans le cas d'un mur comportant un autre type de revêtement extérieur.

7.2 *MUR DE FOND À OSSATURE D'ACIER*

Les composants typiques d'un mur de fond à OA apparaissent dans la figure 7.1, où le poteau d'acier est l'élément principal qui doit être relié à des rails au sommet et à la base, afin de supporter le mur en lui servant d'ossature. Dans la plupart des conceptions, une certaine forme de contreventement ou d'entretoisement interne est nécessaire pour assurer la résistance des poteaux à la flexion (c'est-à-dire, pour prévenir le flambement par flexion ou torsion). Lorsque l'ossature d'acier est construite sur place, les composants sont normalement assemblés à l'aide de courtes vis métalliques autotaraudeuses; mais on a aussi utilisé la soudure, ce qui est le cas en général lorsque l'ossature d'acier est préfabriquée. La figure 7.2 indique où souder pour que l'assemblage soit solide, tout en permettant que le travail de soudure se fasse à partir d'un seul côté de l'ossature.

Les règles de calcul du mur de fond à OA doivent être attentives à son raccordement avec la structure, sans oublier le jeu requis pour le mouvement, ainsi que les mouvements différentiels de la structure et du mur de fond. Il faut aussi tenir compte des effets du matériau de revêtement intermédiaire sur le mur de fond et de l'action de l'un sur l'autre, ainsi que des charges transmises par les attaches et de l'influence du placage de brique sur la répartition et l'importance de ces charges.

7.3 *RÈGLES DE CALCUL DU POTEAU D'ACIER*

Les règles de calcul du poteau d'acier en ce qui a trait au vent et aux autres sollicitations latérales tiennent compte normalement :

- du moment fléchissant maximal (au milieu de la portée);
- de la limite de flexion hors plan prévue; et
- du cisaillement aux extrémités et du flambage d'âme.

À ce point de vue, la documentation fournie par les fabricants repose sur l'hypothèse que les poteaux sont pleinement supportés latéralement sur les deux ailes (c'est-à-dire qu'aucun flambage par flexion et torsion ne peut se produire). Il arrive souvent, de plus, que le flambage d'âme dû aux charges ou aux réactions concentrées ne soit pas vérifié. Il importe donc, comme nous le verrons plus tard, que ces deux facteurs soient inclus dans le processus de conception.[2,3,4,5,6,7]

Bien que les essais aient démontré que les revêtements intermédiaires en plaques de plâtre ou d'autres matériaux vissés aux poteaux peuvent produire des effets conjugués, des cycles répétés de charges diminuent rapidement l'avantage de ces effets, par le fait qu'ils desserrent les vis ou élargissent les trous où elles sont logées. De plus, surtout du côté extérieur du mur de fond, l'humidité qui s'introduit parfois dans le mur réduit sensiblement l'aptitude des plaques de plâtre à résister à la flexion. Ajoutons que les joints horizontaux entre les plaques de plâtre font que des longueurs de poteaux n'ont aucune possibilité d'effets conjugués. Il est donc recommandé de ne pas compter sur la résistance à la flexion ni sur la rigidité accrue qu'apportent les revêtements intermédiaires vissés, tels que les plaques de plâtre, pour réduire les flèches de calcul.

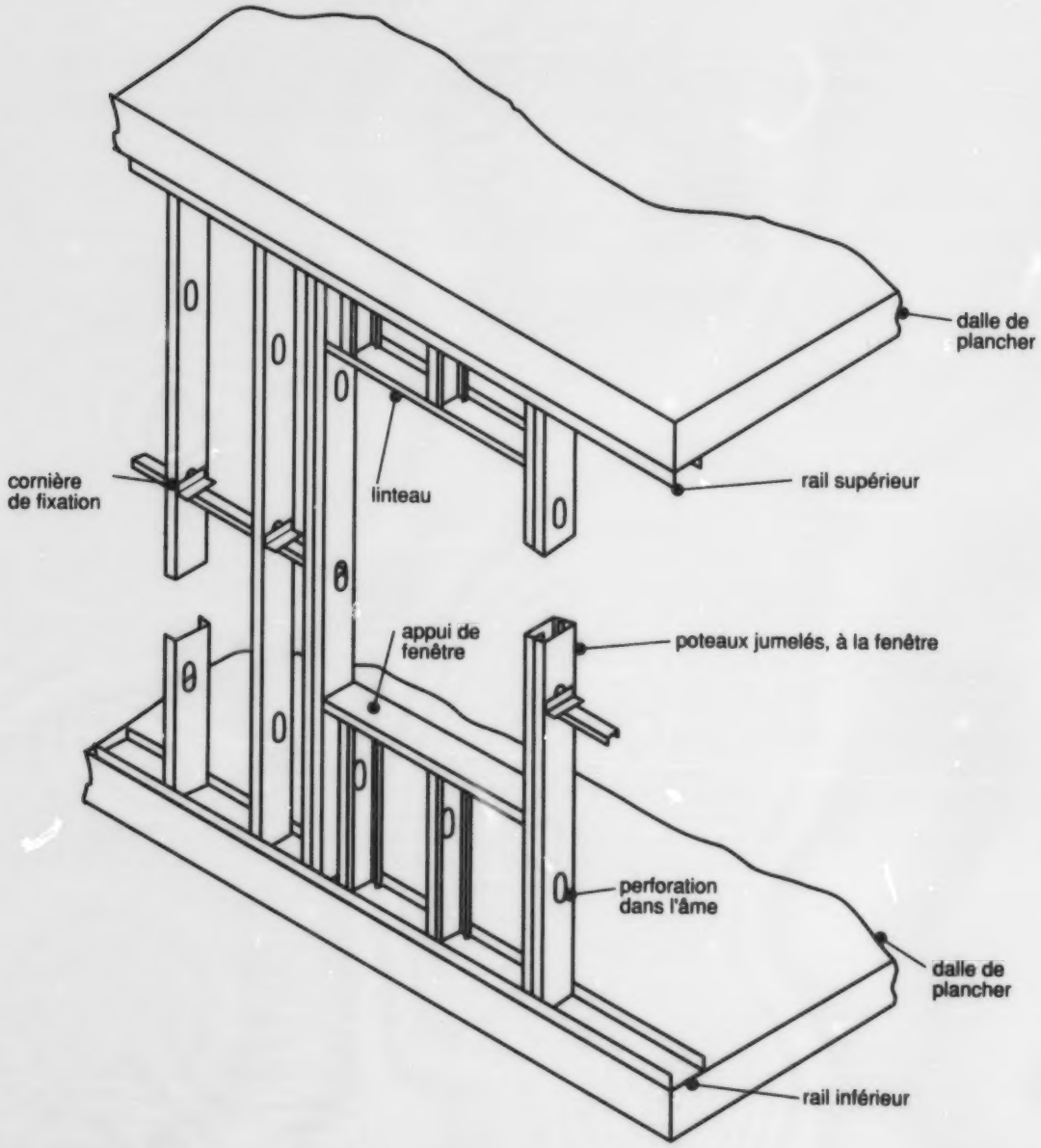


Figure 7.1 Composants du mur de fond à OA

Bien que la soudure d'éléments métalliques aussi minces que 0,7 mm soit permise (*voir* CAN3-S136-M84, *Éléments porteurs en acier formés à froid*) dans les assemblages structuraux si elle est exécutée par des soudeurs qualifiés, on recommande normalement que les éléments métalliques soudés sur le chantier soient de l'épaisseur n° 18 au moins (c'est-à-dire 1,2 mm).

Pour restaurer la résistance à la corrosion des points de soudure, il faut les retoucher avec l'enduit prévu à cet effet.

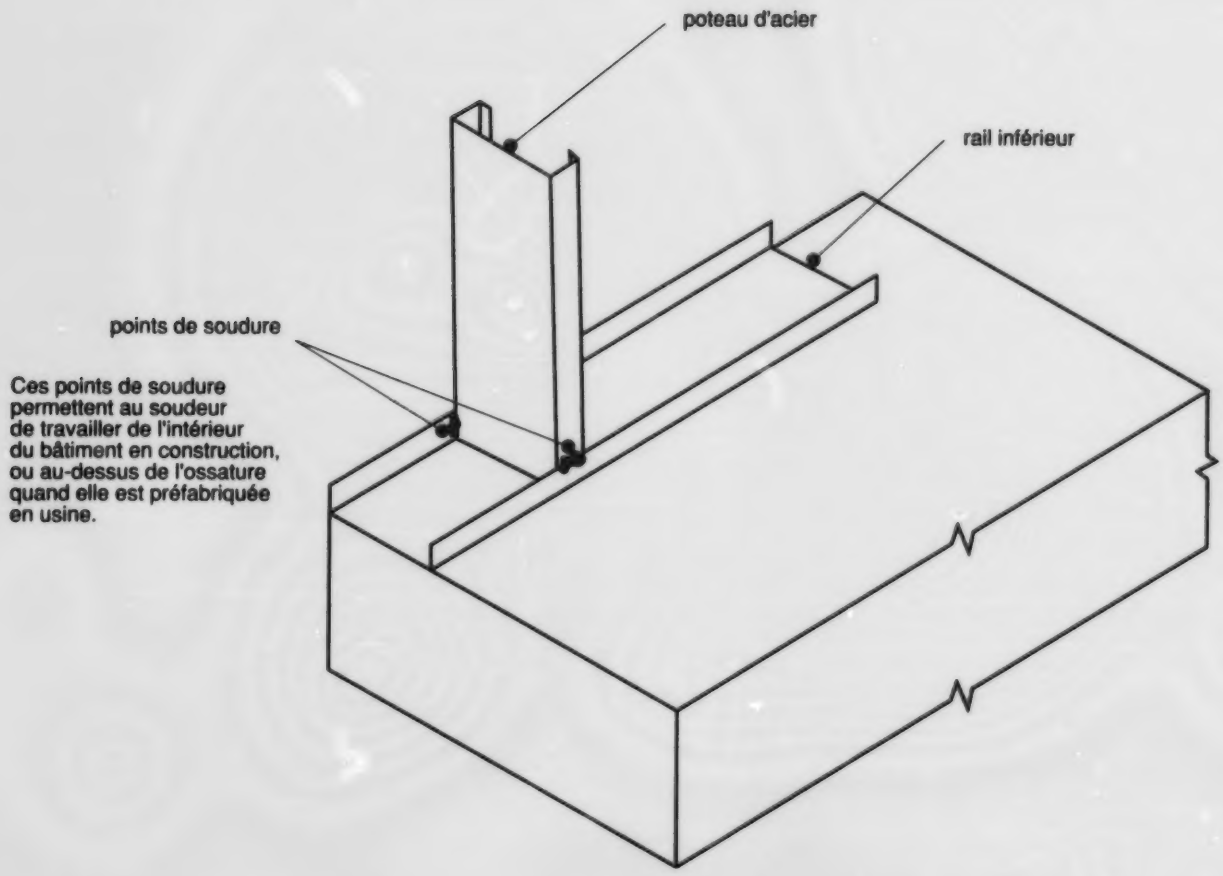


Figure 7.2 Soudure du montant d'acier au rail inférieur

L'observation suivante, tirée de l'ouvrage de l'ICTAB, *Norme guide pour les éléments d'ossature légers en acier* (50M-1987), d'août 1987,[8] constitue selon nous une sage pratique de conception :

«Remarque au rédacteur des cahiers des charges - Certains matériaux de revêtement, notamment le placoplâtre, peuvent perdre leur intégrité structurale lorsqu'ils sont en présence d'un environnement humide ou après un nombre suffisant de cycles de chargement. Ces matériaux peuvent ne pas convenir comme éléments de contre-ventement. Si le parement sert également de contreventement, il est pratique courante dans l'industrie de prévoir une quantité minimale d'entretoisement en acier, de sorte à permettre l'alignement des colombages lors de leur montage et d'assurer l'intégrité structurale nécessaire pendant les travaux de construction et une fois la structure parachevée.»

Les entretoises métalliques sont donc nécessaires pour assurer la résistance des poteaux à la flexion. Cette question sera approfondie dans la section 7.5.

Les analyses structurales[9,10,11,12] et les essais,[13,14,15] ont montré que, avant sa fissuration, le placage de brique réduit sensiblement la flexion des poteaux d'acier. Cependant, à moins que le placage de brique ne soit expressément conçu comme un élément structural et inspecté pour s'assurer qu'il agira comme tel, le concepteur du mur de fond à OA doit supposer que le PBr va se fissurer et que ce sont les poteaux d'acier qui devront résister à la surcharge totale due au vent ou aux séismes. De plus, l'interaction du PBr et du mur de fond à OA peut aboutir à une répartition très inégale des surcharges transmises par les attaches. Comme on le voit dans la figure 7.3, dans le cas d'un système mural PBr-OA classique avant sa fissuration, l'attache supérieure transfère une proportion élevée des surcharges latérales, peu importe que la surcharge s'exerce sur le placage ou sur le mur de fond.

Après la fissuration du placage, les attaches les plus près de la fissure transfèrent le gros de la surcharge. L'existence de ces surcharges hautement concentrées transmises par les attaches non seulement influe sur le calcul des attaches, mais aussi doit être retenue dans le calcul des poteaux d'acier.

Voici quelques observations concernant les principaux critères de calcul des éléments de l'ossature d'acier.

MOMENT FLÉCHISSANT MAXIMAL

Sauf si les fabricants certifient que les essais ou les analyses confirment qu'un profilé peut résister au moment fléchissant maximal, les concepteurs doivent le vérifier en se basant sur les dispositions de la norme CAN3-S136-M84, *Éléments porteurs en acier formés à froid*.[16,17] Lorsque l'âme des poteaux est perforée, il faut tenir compte de l'effet de ces perforations sur les propriétés du profilé et sur son comportement. Comme mentionné précédemment, le mur de fond à OA doit être conçu de façon à résister à la surcharge latérale complète. À ce point de vue, il faut tenir compte de l'effet des charges excentriques et des charges concentrées transmises par les attaches, tant du point de vue du comportement des éléments d'acier (torsion) que du comportement local (flambage d'âme) à proximité des charges concentrées.

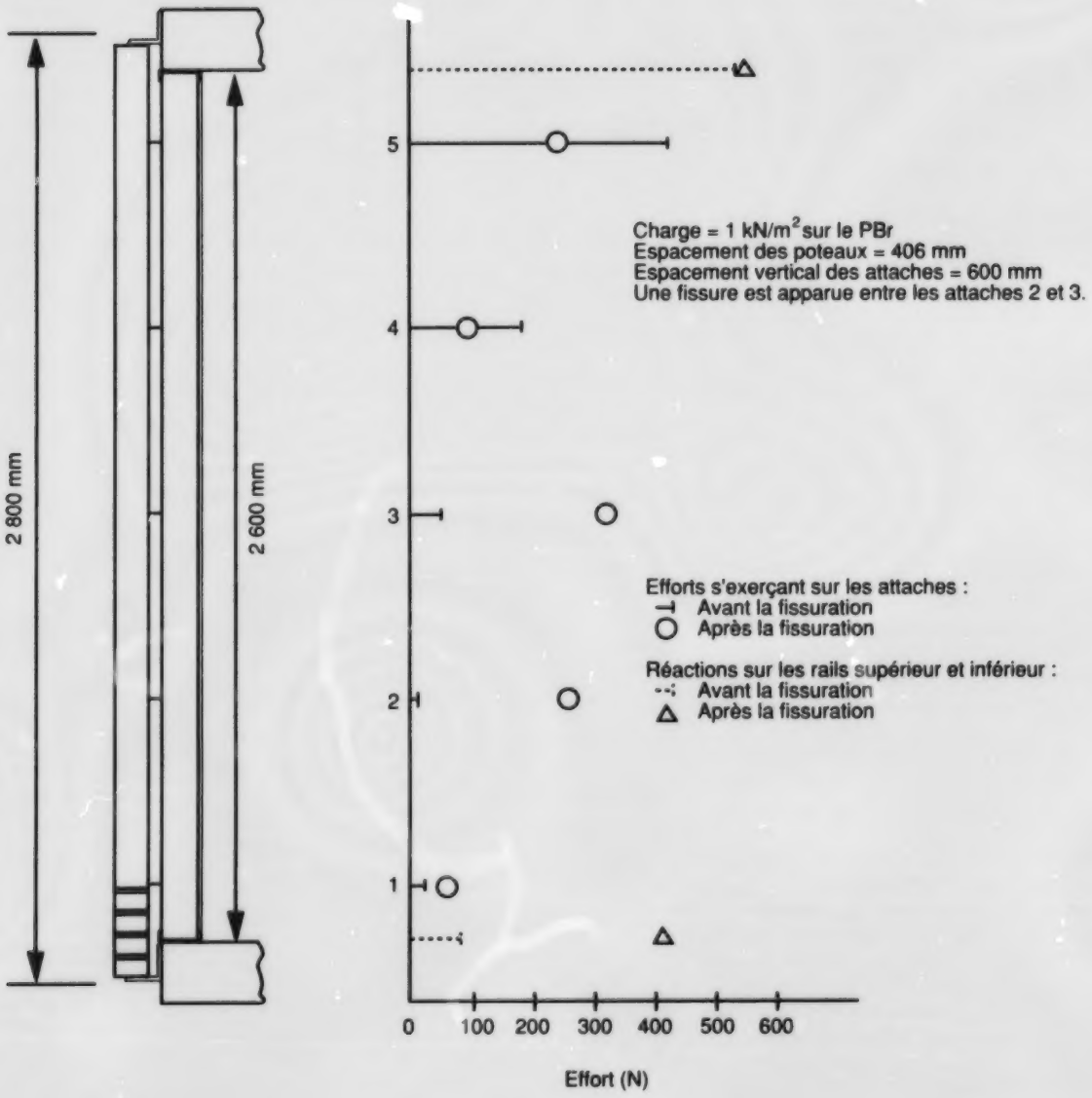


Figure 7.3 Représentation de la répartition des efforts qui s'exercent sur les attaches et les rails supérieur et inférieur

Les poteaux d'acier nécessitent un contreventement, afin d'être en mesure de résister aux moments. Ce contreventement peut prendre la forme d'un revêtement extérieur (p. ex. : en acier) ou d'un contreventement distinct, ou d'une combinaison des deux. Si l'on recourt à un contreventement distinct, la mise en application de toutes les exigences prévues pour le contreventement distinct dans la clause 8.3.2 de la norme CAN3-S136-M84[18] ne sera peut-être pas nécessaire. Les limites de flexion, plutôt que la résistance complète de la poutre à la flexion, pourront peut-être alors orienter la conception. On pourra utiliser un contreventement réduit si une analyse rationnelle ou des essais incorporant les effets des sollicitations latérales et de torsion ou des charges concentrées montrent qu'on peut obtenir la résistance requise. Il se pourrait, en particulier, que le contreventement à des intervalles inférieurs à un quart de la longueur et la mise en place de contreventements supplémentaires près des zones où pourraient se produire des charges très concentrées, comme aux attaches du haut et du centre, ne soient pas nécessaires.

Pour les poteaux de 2,6 mm de longueur, les essais[19] ont montré qu'un contreventement à mi-hauteur et des éléments solidement fixés de chaque côté des poteaux, au sommet et à la base (*voir* figure 7.4), peuvent être suffisants. Il faut, cependant, avant de choisir ce type de conception, tenir compte des données relatives à l'attache utilisée (distance entre axes et degré de concentration des charges) et de la section du poteau.

Les charges concentrées sur les attaches, qui provoquent le flambage d'âme près des perforations pratiquées dans l'âme des poteaux, ne doivent pas être permises, à moins qu'on puisse démontrer, par essai ou analyse, que la résistance du poteau n'est pas compromise. Bien que des détails de conception bien pensés puissent suffire pour prévenir le risque de flambage, il est recommandé que les perforations dans l'âme des poteaux soient limitées aux endroits où elles sont nécessaires pour le contreventement interne.

La jonction de poteaux pour les allonger ne doit pas être autorisée.

LIMITE DE FLEXION

La flexion est un état limite d'utilisation et est, par conséquent, vérifiée à des niveaux de charge prévus, non pondérés. Lorsque les concepteurs ont choisi d'adopter le critère voulant que les efforts de tension en flexion permis dans le placage ne soient pas dépassés, les limites de flexion exigées se sont échelonnées entre 1/2 000 et 1/3 000 de la longueur des poteaux. Indépendamment de l'aspect désagréable que présentent la flexion et la fissuration des matériaux de finition intérieure, le principal critère a trait à l'importance de la fissuration du placage de brique sous l'effet de la flexion. Bien qu'une flexion de 1/360 de la longueur soit actuellement la valeur maximale acceptable, il se peut que d'autres limites se justifient, comme on le verra dans le chapitre 10.

Les limites de flexion sont normalement calculées en ne tenant pas compte du rôle que peut jouer le placage et en laissant les poteaux d'acier supporter toutes les surcharges latérales, ce qui revient à considérer le placage comme fissuré. Comme on l'explique dans la section 7.4, le glissement horizontal du mur de fond à OA sous l'effet d'un mouvement de translation du rail supérieur ou du rail inférieur ne fait qu'amplifier la flexion globale.

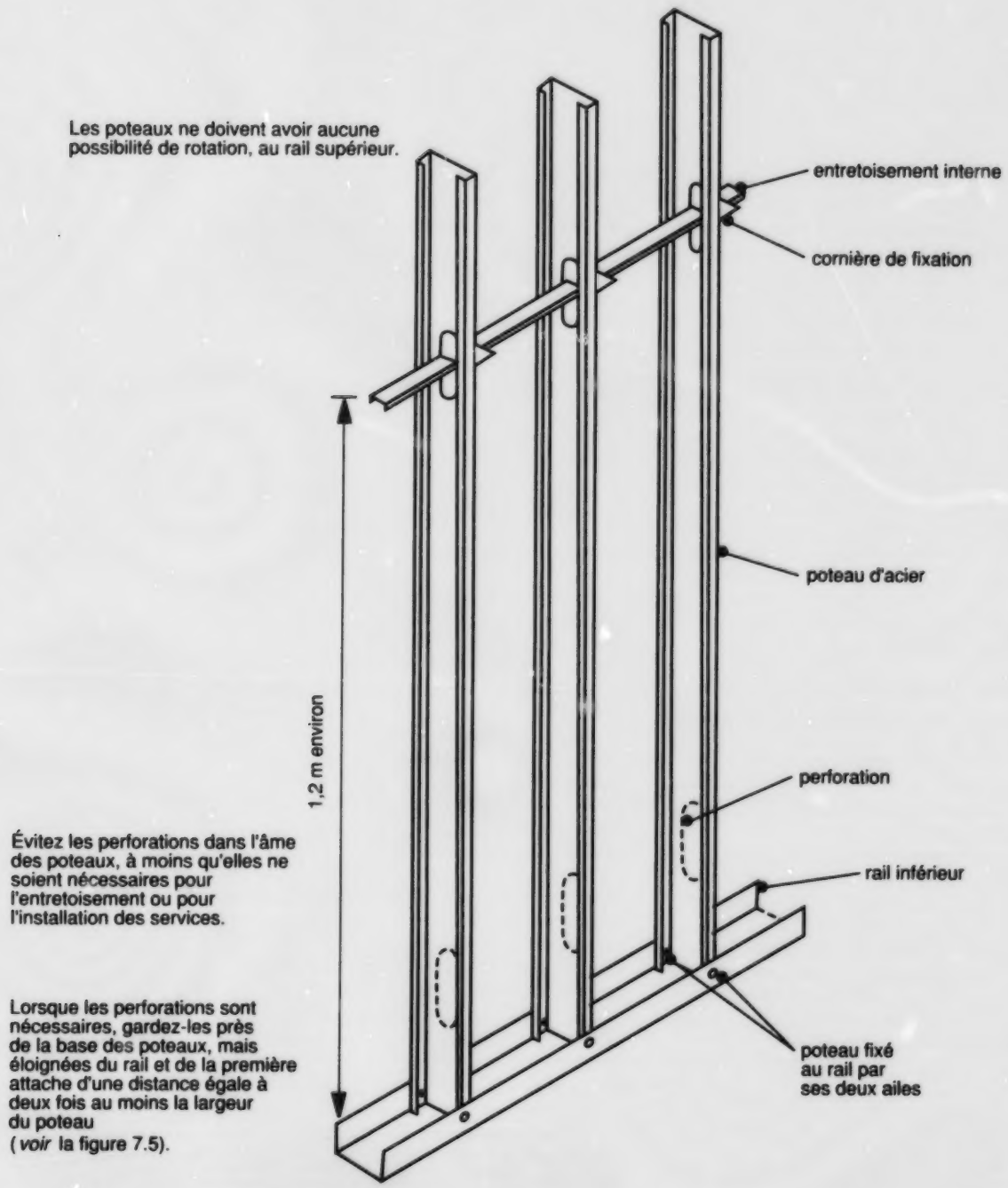


Figure 7.4 Exigences pour l'entretoisement ou le contreventement distinct et la perforation des poteaux

CISAILLEMENT AUX EXTRÉMITÉS

Pour éviter la défaillance prématurée des montants au rail supérieur ou au rail inférieur, les perforations non renforcées pratiquées dans l'âme doivent être éloignées des points de réaction, d'une distance égale à deux fois au moins la largeur du poteau, comme l'illustre la figure 7.5. (Le document de l'ICTAB[20] recommande une distance minimale de 300 mm depuis l'extrémité du poteau jusqu'au centre de la première perforation.) La façon de fixer les poteaux aux rails supérieur et inférieur peut avoir une influence considérable sur l'effet de cisaillement ou sur la résistance des poteaux aux points d'appui; elle doit donc être bien détaillée.

Il faut prévoir la limitation du flambage d'âme et de la torsion des poteaux d'acier dans le calcul de la résistance.[21] Chaque poteau d'acier doit être fixé aux rails supérieur et inférieur par chacune des ailes, en veillant à ne pas créer de flambage d'âme. Comme nous le verrons dans la section 7.4, la conception peut prévoir d'autres méthodes de support des poteaux.

OUVERTURES

Il importe de noter qu'aux ouvertures telles que les fenêtres, les poteaux situés de chaque côté de l'ouverture doivent normalement porter une part égale des surcharges latérales transférées de la surface tributaire occupée par la fenêtre et des surfaces du mur à OA situées au-dessus et en-dessous de ces ouvertures. Bien que l'utilisation de poteaux jumelés soit généralement une bonne pratique de conception, il se peut que les grandes ouvertures (qui dépassent, par exemple, de plus de trois fois l'espacement régulier des poteaux) nécessitent soit un élément composé, soit plus d'un poteau additionnel, de chaque côté. Ces montants doivent être liés ensemble au moyen de brides ou autrement, afin de faciliter le partage des charges; et les membres d'ossature horizontaux au-dessus et en-dessous des ouvertures, s'il y en a, doivent être capables de leur transférer les charges. Les rails supérieur et inférieur peuvent aussi être utilisés pour solidifier les poteaux installés de chaque côté de l'ouverture. La figure 7.6 fournit des données sur la répartition typique, dans le mur, des charges en provenance de la surface de la fenêtre.

Même lorsqu'il n'y a pas de placage de brique au-dessus et en-dessous des ouvertures, le fait que le mur à ossature d'acier a tendance à se comporter comme un tout oblige le concepteur à utiliser les mêmes critères de calcul.

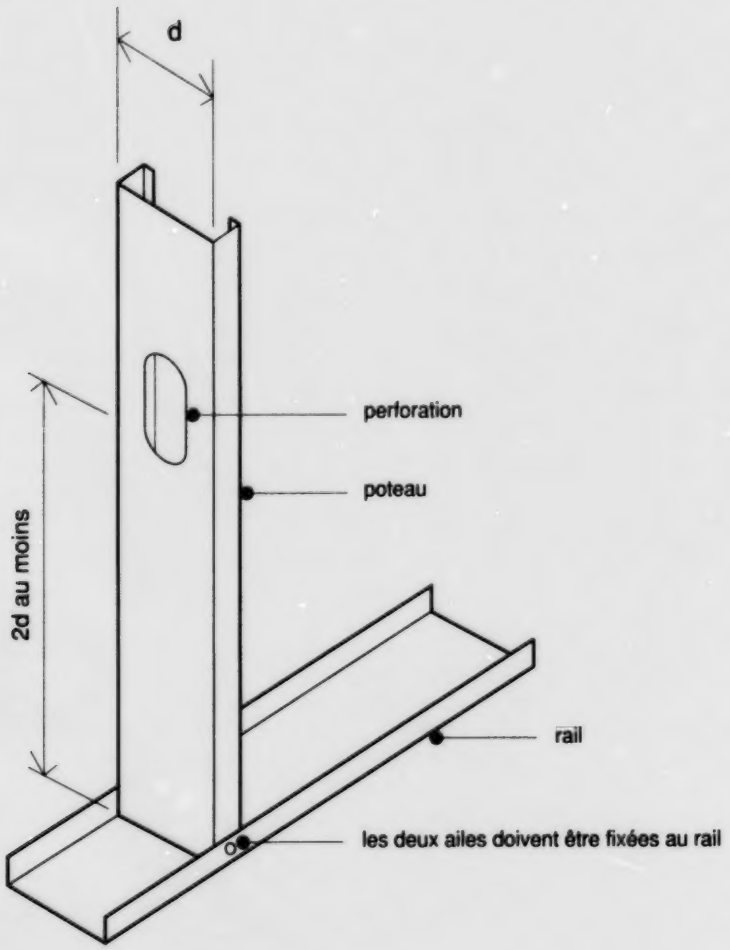
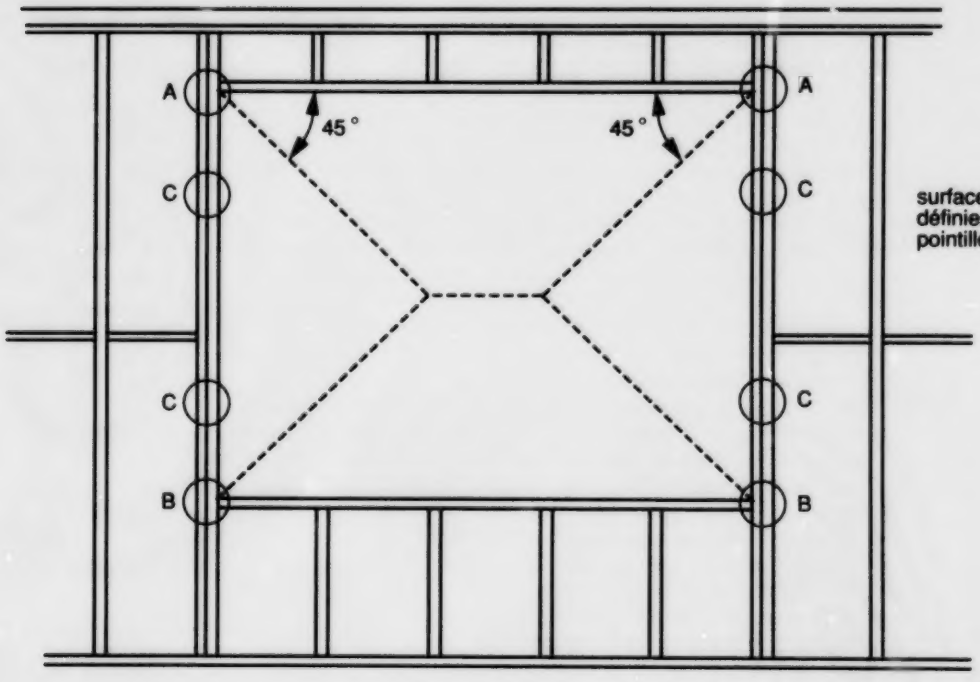


Figure 7.5 Évitez de perforer l'âme des poteaux près des points de réaction



Les points de raccordement A résisteront chacun à 25 % de la surcharge exercée par le vent sur la surface au-dessus de la fenêtre.

Les points de raccordement B résisteront chacun à 25 % de la surcharge exercée par le vent sur la surface au-dessous de la fenêtre.

Si la fenêtre est supportée sur les côtés, environ 25 % de la surcharge exercée par le vent sur la surface occupée par la fenêtre sera concentrée à chaque point C.

Si la fenêtre est fixée en haut et en bas seulement, les points A et B porteront chacun environ 25 % de la surcharge exercée par le vent sur la surface occupée par la fenêtre.

Si la fenêtre est supportée uniformément sur tout son périmètre, la surcharge exercée par le vent sur la fenêtre peut se répartir sur les quatre côtés, selon les surfaces tributaires délimitées par les lignes pointillées.

Figure 7.6 Répartition, sur le mur, des surcharges exercées par le vent sur une fenêtre et sur les surfaces situées au-dessus et au-dessous

CONCLUSION

Les constructeurs utilisent couramment des poteaux d'acier d'épaisseur n° 20. Il appert, cependant, que l'économie apparente réalisée avec des profilés de section plus faible ne diminue peut-être pas sensiblement, en réalité, le coût global du mur de fond. L'expérience prouve que bien des poteaux d'épaisseur n° 20 ont été endommagés en cours de manutention et d'expédition, avant même le début des travaux de construction. Ces poteaux n'auraient jamais dû être incorporés dans la construction. On a constaté, par ailleurs, que les profilés d'acier d'épaisseur n° 18 résistaient beaucoup mieux aux conditions de manutention et que très peu portaient des marques de dommages.

Les *Technical Notes on Brick Construction No. 28B*,[22] publiée par le *Brick Institute of America*, recommandent que les poteaux d'acier du système mural PBr-OA aient une épaisseur n° 18 au moins. Après discussions avec les représentants de l'industrie de la fabrication des poteaux d'acier, le présent document d'orientation a adopté cette recommandation, pour les raisons principales suivantes :

- les essais ont démontré que les méthodes courantes de contreventement et d'entretoisement donnent de bien meilleurs résultats avec des poteaux d'épaisseur n° 18;
- les raccordements par soudure ou vissage sont plus faciles à faire avec un matériau plus épais;
- les vis qui fixent les attaches ou les autres composants aux poteaux ont une plus grande surface de contact et sont moins susceptibles de tourner dans le vide ou de se desserrer;
- étant plus épais, le matériau est moins sujet à la corrosion;
- les poteaux risquent moins d'être endommagés avant leur installation;
- le flambage d'âme causé par le raccordement des attaches de la brique aux poteaux ou par le raccordement des poteaux aux rails supérieur et inférieur est moins susceptible de se produire; et
- les attaches de la brique fixées à l'aile du montant seront moins flexibles.

Selon l'industrie, la hausse du coût de construction qu'entraîne l'utilisation de profilés d'acier d'épaisseur n° 18 au lieu de l'épaisseur n° 20 est relativement faible. Nous avons donc conclu que, du point de vue des coûts-efficacité, il y avait de nombreux avantages à utiliser des poteaux d'épaisseur n° 18, en raison de la résistance et de la rigidité accrues qu'ils apportent à la construction, de leur durabilité et de leur caractère pratique dans l'exécution des travaux de construction.

7.4 DONNÉES POUR LA CONCEPTION DES RAILS SUPÉRIEUR ET INFÉRIEUR

La pratique normale consiste à utiliser les rails supérieur et inférieur comme points d'appui pour les poteaux d'acier. Les rails servent aussi à :

- contreventer les poteaux contre le flambage par torsion;
- faciliter l'alignement des poteaux durant leur installation;
- former un joint continu qu'il est facile de calfeutrer ou obturer autrement, pour prévenir le passage de l'air;
- offrir un appui aux plaques de plâtre murales ou à tout autre matériau de revêtement intermédiaire; et
- permettre l'installation d'un joint de dilatation (normalement au rail supérieur).

Normalement, les rails sont ancrés à la structure, comme on le voit dans la section 7.6. Les essais ont montré que, si l'on utilise la même épaisseur d'acier pour les rails que pour les poteaux, cela suffit pour empêcher le flambage des poteaux. Par contre, la pratique d'utiliser des rails faits d'un acier plus épais que l'acier des poteaux (p. ex. : des rails d'épaisseur n° 16 et des poteaux d'épaisseur n° 18) a l'avantage de donner plus de rigidité aux raccordements et de réduire les risques de dommage.

En plus de s'assurer de la résistance suffisante de ces détails de conception, il faut en vérifier la rigidité, pour les cas où un déplacement latéral pourrait nuire au comportement du placage et endommager les matériaux de finition intérieure par suite des déformations qui s'ensuivraient. Au lieu d'une analyse exhaustive, on recommande que, en situation de pleine charge d'utilisation, le déplacement horizontal au point de raccordement du rail ne dépasse pas 1,2 mm. (On recommande une analyse exhaustive lorsque la fissuration du placage ou l'importance de la fissure créent une situation particulièrement critique.)

CONCEPTION DU RACCORDEMENT DES POTEAUX AU RAIL INFÉRIEUR

Le raccordement des poteaux au rail inférieur se fait généralement par vissage ou soudure, ce qui donne un assemblage mécanique. Cette méthode empêche le mouvement de torsion, mais elle ne permet pas le transfert de l'effort de cisaillement d'une âme à l'autre. La réaction d'appui du poteau est donc transformée en pression de l'aile du poteau sur l'aile du rail tourné vers le haut. Le rail doit être vérifié en cet endroit pour voir si l'aile fléchit et, comme mentionné pour le calcul du poteau, l'extrémité du poteau doit être vérifiée pour voir s'il s'y produit un flambage d'âme. De plus, comme indiqué dans la figure 7.5, les perforations près de l'extrémité des montants doivent être interdites.

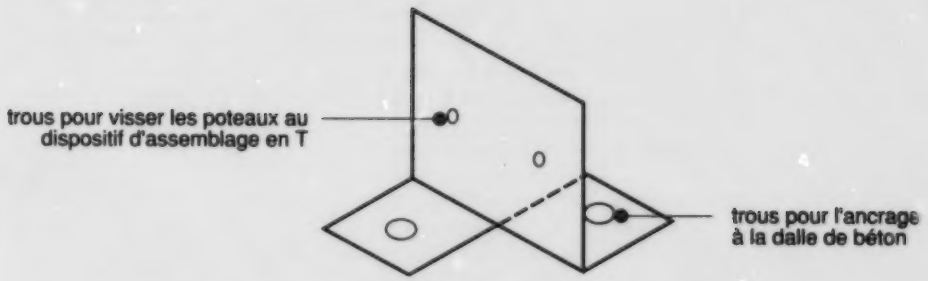
Avant la fissuration du placage, la réaction horizontale au rail inférieur peut être relativement faible, parce que le placage est généralement retenu par la friction des briques sur la cornière d'appui. Comme on peut le voir dans la figure 7.3, cependant, après la fissuration du placage, ou si les attaches sont très flexibles, il se peut que le rail inférieur ait à résister à environ la moitié des surcharges latérales qui s'exercent sur le mur.

Bien que les poteaux doivent être fermement insérés dans le rail afin de réduire au minimum l'espace entre l'extrémité du poteau et l'âme du rail, un écart pouvant atteindre 6 mm doit être prévu dans la conception. Le cahier des charges doit préciser une tolérance de montage de 4 mm, comme recommandé par l'ICTAB.[23]

La soudure des poteaux au rail, comme l'illustre la figure 7.2, donne un meilleur raccordement, tant du point de vue de la résistance que de la rigidité. D'autres modes de montage, y compris le raccordement à l'âme du rail, ont aussi été utilisés avec succès.[24] La figure 7.7 illustre un raccordement en T qui donne un assemblage très résistant et très rigide et qui a l'avantage supplémentaire de permettre un certain réglage des poteaux selon leur longueur. Ce type de raccordement peut être la source de problèmes, cependant, lorsque l'acier d'armature de la dalle ou de la poutre de chaînage gêne la mise en place des dispositifs de fixation.

CONCEPTION DU RACCORDEMENT DES POTEAUX AU RAIL SUPÉRIEUR

Dans les cas habituels d'utilisation de poteaux d'acier, l'ossature d'acier est destinée, non pas à supporter des charges verticales, mais uniquement à résister aux surcharges perpendiculaires au mur, par exemple la pression du vent. À cette fin, il est nécessaire que les combinaisons de flexion et de retrait de la structure porteuse n'aient pas pour résultat de transférer des charges dans l'ossature de poteaux d'acier. C'est pourquoi, comme déjà vu dans le chapitre 4, la largeur à prévoir pour le joint de dilatation dépend, typiquement, du retrait de la structure par étage et de la flexion à long terme de la poutre ou du plancher. Bien que chaque bâtiment doive être évalué séparément, la pratique courante, pour les hauteurs d'étage et les portées qu'on rencontre normalement dans la construction de béton armé, consiste à prévoir des joints de dilatation de 12 à 15 mm. Dans le cas des planchers relativement flexibles, dont la flèche peut atteindre 1/360 de la portée à long terme, il est nécessaire de ménager des joints de dilatation plus larges. De plus, un facteur fréquemment oublié est la dilatation thermique de l'ossature d'acier en cas d'incendie. Si l'on tient compte de ce facteur et des tolérances de construction, il se peut que l'épaisseur du joint de dilatation dépasse 25 mm. De toute évidence, la mise en œuvre de tout joint de dilatation a des répercussions sur la rigidité du mur de fond; il s'ensuit donc que la nécessité de ménager parfois un joint relativement large, tel que 25 mm, donne une importance encore plus grande à cet aspect de la conception.



Détail A - Dispositif d'assemblage en T

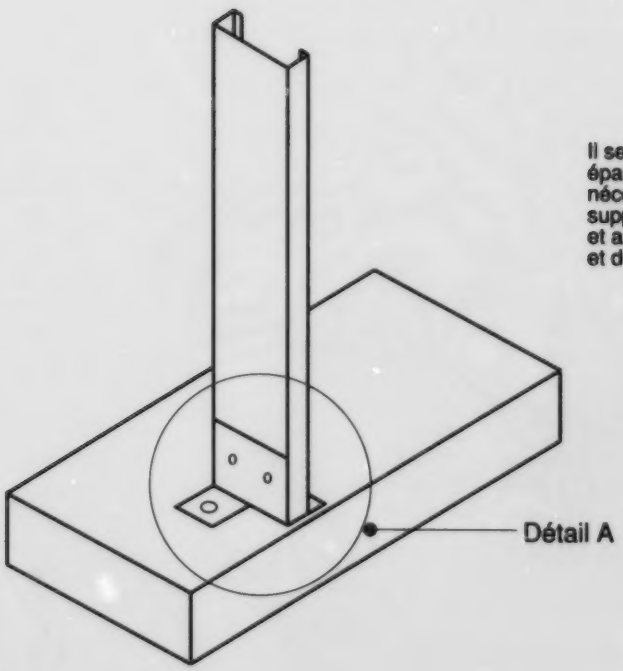


Figure 7.7 Utilisation de dispositifs d'assemblage en T pour fixer les poteaux à la dalle de plancher

Il faut apporter beaucoup de soin aussi aux dessins détaillés des joints de dilatation, afin de s'assurer que les poteaux ne se dégagent pas du rail supérieur, lorsque le plancher inférieur fléchit par rapport au plancher supérieur. Il se peut donc qu'on doive utiliser des rails ayant des ailes de 60 mm aux joints de dilatation.

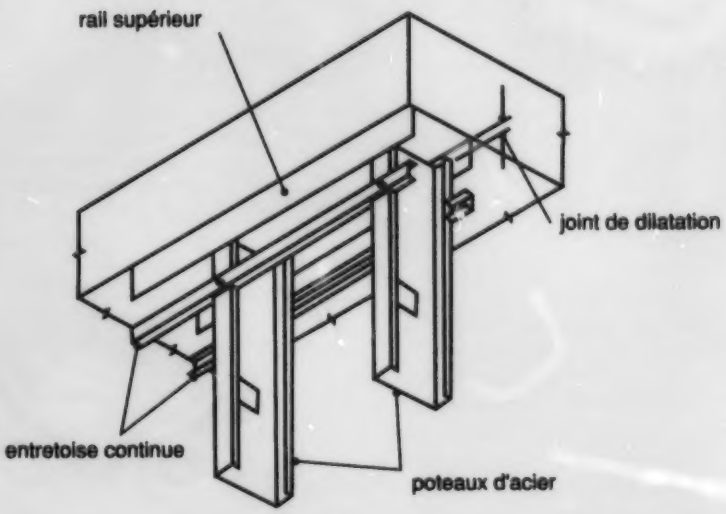
De ce qui précède, il est évident que la méthode qui consiste à visser les poteaux au rail, à l'endroit du joint de dilatation, est inacceptable. Un certain nombre de méthodes pratiques ont été mises au point pour assurer le support des poteaux d'acier à cet endroit tout en permettant le mouvement. Certaines de ces méthodes, qui sont illustrées dans la figure 7.8, sont expliquées ci-après :

Poteaux libres en tête - Comme on le voit dans la figure 7.8 a), cette méthode, une des plus faciles à utiliser, ne compte sur le rail que pour assurer le support des poteaux hors plan. C'est pourquoi l'entretoisement ou le contreventement interne est nécessaire vers le haut des poteaux, pour leur assurer la rigidité voulue contre les efforts de torsion et le maintien dans le plan vertical.[25]

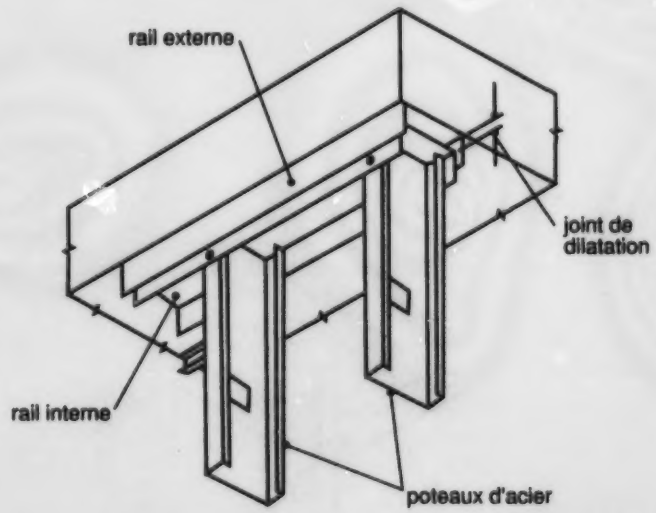
Rails emboîtés - Cette méthode permet de visser les poteaux au rail interne servant de support. En insérant ensuite ce rail dans un autre à ailes plus étroites, comme indiqué dans la figure 7.8, le mouvement vertical est possible. Étant donné que les poteaux ont une meilleure surface d'appui le long du rail externe, on pense généralement que cette méthode assure une plus grande rigidité que la méthode des poteaux libres en tête.

Liaison par l'âme - La liaison par l'âme, du genre illustré dans la figure 7.8 c), est suffisamment flexible dans le sens vertical pour permettre le mouvement vertical libre des poteaux, tout en assurant un freinage horizontal tant dans le plan que hors plan. L'avantage d'une rigidité accrue par rapport aux efforts hors plan peut aussi permettre de réduire les exigences relatives à la largeur des ailes et à l'épaisseur de l'acier. La figure 7.8 d) illustre une méthode semblable, mais où le glissement vertical y est rendu possible par des fentes pratiquées dans le dispositif de liaison à l'âme.

Rails en caisson et poteaux libres en tête - Cette méthode assure aux poteaux, qui sont libres en tête, un freinage horizontal dans le plan et hors plan, sans empêcher leur mouvement vertical, comme on le voit dans la figure 7.8 e). Le caisson formé par les rails insérés l'un dans l'autre face à face assure un support relativement rigide. Ce caisson doit être rempli d'isolant, afin d'en améliorer la résistance thermique; mais, comme dans le cas des rails emboîtés, cette méthode peut créer d'importants ponts thermiques.



a) Poteaux libres en tête



b) Rails emboîtés

Figure 7. 8 Détails typiques du joint de dilatation au raccordement des poteaux avec le rail supérieur

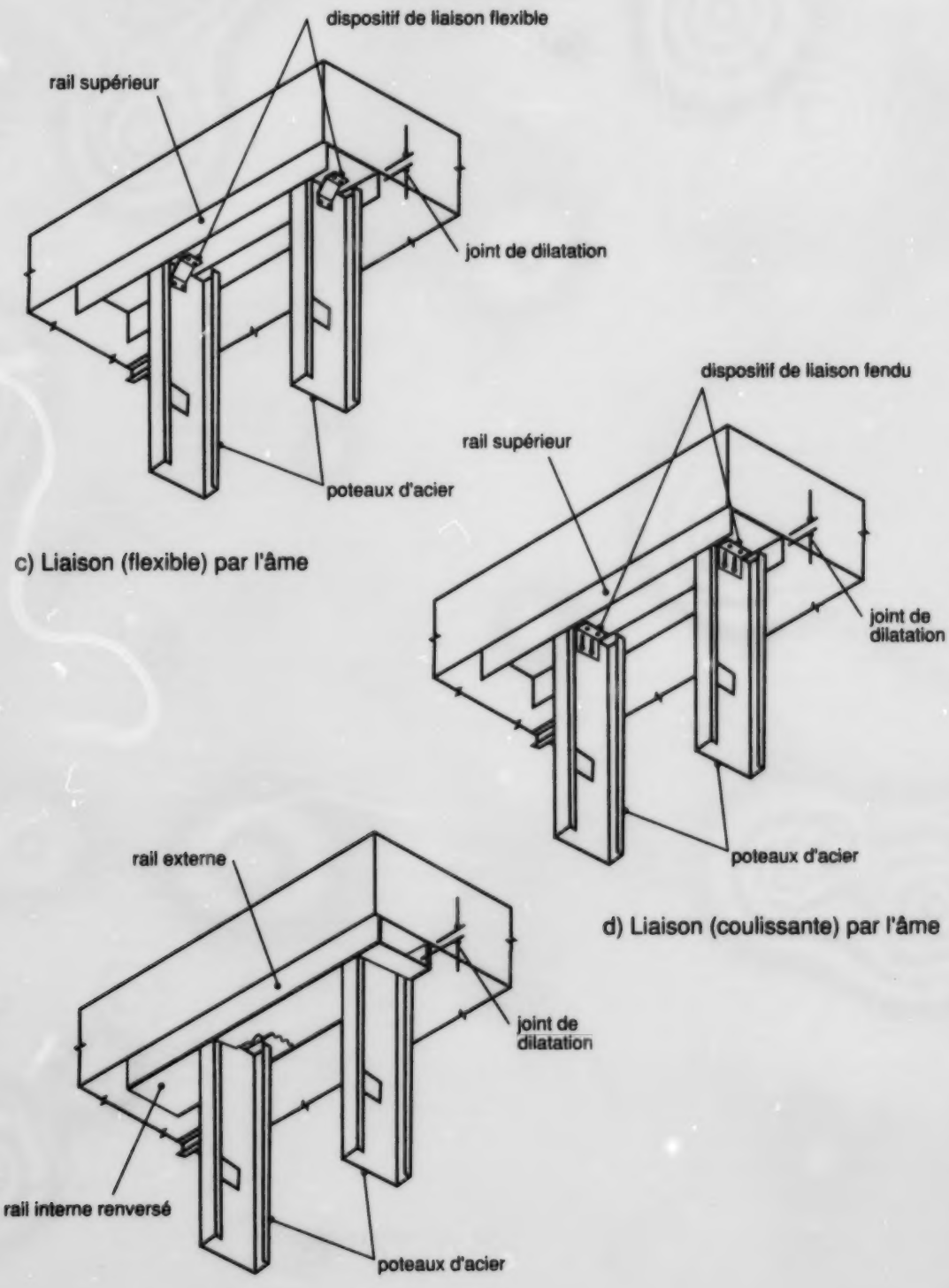


Figure 7. 8 (suite) Détails typiques du joint de dilatation au raccordement des poteaux avec le rail supérieur

CONSTRUCTION

Comme on le voit dans la figure 7.9, l'erreur la plus courante dans la construction des joints de dilatation consiste dans le fait que le mouvement est involontairement empêché par une caractéristique de construction ou une autre, à cause d'un manque de précision dans la conception. Le fait de visser les poteaux au rail supérieur est la façon la plus évidente d'empêcher le mouvement, mais le fait de fixer les plaques de plâtre au rail et aux poteaux aboutit au même résultat. De même, le fait d'installer les plaques de plâtre sur toute la hauteur du mur freine aussi le mouvement et signifie que quelque chose va devoir céder pour que le mouvement puisse avoir lieu. Dans bien des conceptions, les particularités susmentionnéss n'ont pas été suffisamment étudiées.

Si la présence d'un espace au sommet du revêtement intérieur de finition n'est pas esthétiquement acceptable, la mise en œuvre du joint de dilatation à la base du mur, où le joint et le mouvement peuvent disparaître derrière les plinthes ou d'autres boiseries, peut être une solution pratique. Bien que cette solution implique la «suspension» du mur au rail supérieur, elle a l'avantage structural de réduire sensiblement les déplacements du rail supérieur en lui assurant un assemblage plus rigide. L'assemblage plus souple que nécessite le joint de dilatation comporte des déplacements moindres si le joint est à la base du mur, en raison des réactions d'appui généralement moindres en cet endroit. (Il importe de rappeler que la mise en œuvre de ce concept exige que les fenêtres, les conditionneurs d'air, etc., soient supportés à partir du sommet du mur de fond à OA.)

Lorsque les rails sont discontinus sur la longueur d'un panneau, chacune de leurs extrémités aboutées doit être ancrée au plancher, comme indiqué dans la figure 7.10.

Il peut être pratique d'utiliser des rails d'acier au-dessus et en-dessous des ouvertures. Celles-ci assurent alors une flexibilité adéquate à ces endroits, mais il est nécessaire de prévoir un assemblage suffisamment fort et rigide avec les poteaux adjacents.

Bien que divers types de cornière ou autres dispositifs de fixation puissent faire l'affaire, une excellente façon de faire l'assemblage consiste à couper l'extrémité du rail et à plier l'âme, comme indiqué dans la figure 7.11. Ce type d'assemblage résiste aux efforts de torsion qui s'exercent sur le poteau, au lieu de les provoquer.

Pour maintenir un bon joint de dilatation, il faut tenir compte des tolérances de construction. Bien qu'on puisse, par la largeur du joint de dilatation, compenser les légères variations dans la hauteur des étages, les écarts plus importants ne peuvent se corriger que par l'utilisation de poteaux de longueurs différentes.

CONCLUSION

Il est essentiel, dans la conception d'une ossature d'acier, de prévoir un joint de dilatation suffisant; sans ce joint, l'ossature peut, à un moment donné, devenir une ossature porteuse. Le mode d'assemblage au rail supérieur doit être choisi avec soin et en tenant bien compte de toute interaction possible avec les autres éléments du bâtiment. La construction doit être exécutée de telle sorte que le mouvement puisse se produire exactement comme prévu dans la conception.

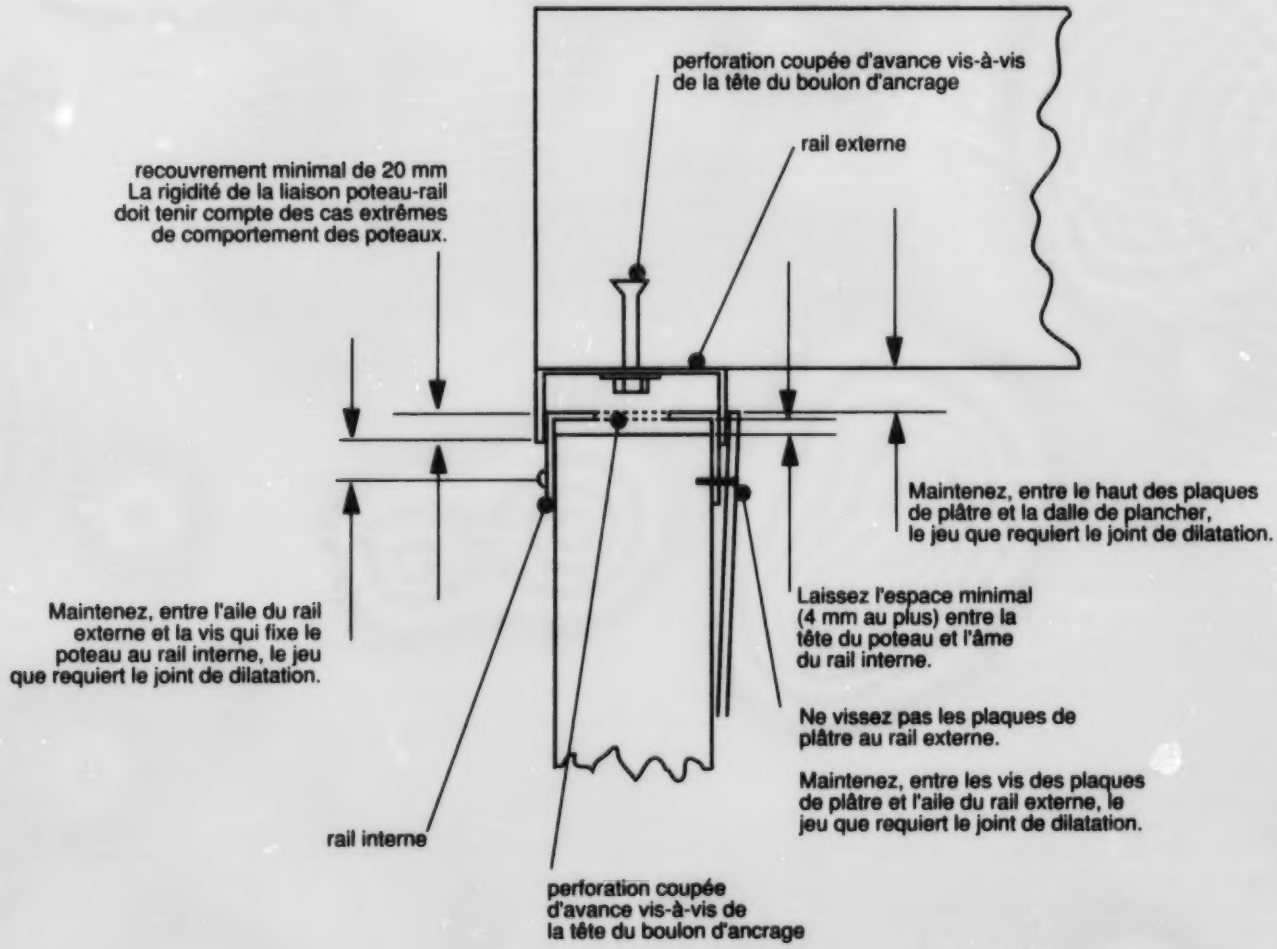


Figure 7.9 Exigences à respecter pour permettre aux joints de dilatation de remplir leur rôle

7.5 *ENTRETOISEMENT ET CONTREVENTEMENT*

Il est arrivé que certaines conceptions de l'ossature d'acier comptent sur le revêtement intermédiaire pour assurer la stabilité de l'ossature dans le plan et le contreventement des poteaux contre les efforts de torsion. Bien que les essais aient montré que les revêtements en plaques de plâtre réagissent relativement bien lorsque les premières surcharges s'exercent sur l'ossature, la répétition des surcharges finit par provoquer l'élargissement des trous où sont logées les vis; de plus, l'humidité présente dans le mur réduit considérablement la rigidité des plaques de plâtre et leur résistance autour des vis.

C'est pourquoi, comme dans le cas de la rigidité et de la résistance en flexion, il est recommandé de ne pas compter sur un revêtement intermédiaire en plaques de plâtre pour assurer le rendement structural de l'ossature d'acier.[26,27,28] Alors que la présence de plaques de plâtre sur un seul côté des poteaux ne suffit pas pour en prévenir la torsion, le fait d'ajouter un revêtement intermédiaire hydrofuge et des dispositifs de fixation spéciaux peut s'avérer efficace. (*Voir* le paragraphe final de la présente section.)

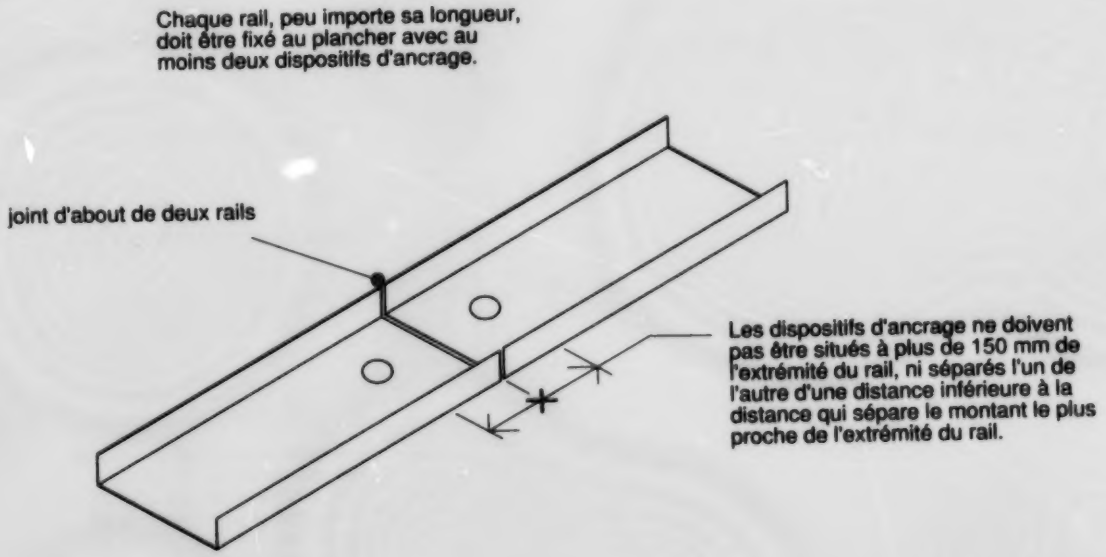


Figure 7.10 Jonction de deux rails

Le type d'entretoisement le plus courant est l'entretoisement interne à travers les poteaux, qui consiste à coincer un profilé en U dans les perforations pratiquées d'avance à intervalles réguliers dans les poteaux. Le profilé est d'abord enfilé, de côté, dans les perforations et ensuite retourné à plat, afin qu'il soit bien coincé sur les côtés des perforations. Cette mise en place par coincement explique peut-être pourquoi, dans certaines constructions, les ouvriers omettent, à tort, de raccorder positivement l'entretoise aux poteaux d'acier; il s'ensuit que l'entretoise n'a guère d'utilité.

Dans le raccordement positif, la façon normale de fixer l'entretoise aux poteaux consiste à utiliser une cornière de fixation, comme on le voit dans la figure 7.12, et de la fixer aux poteaux et à l'entretoise, soit par soudure, soit à l'aide d'au moins deux vis largement espacées sur chaque élément. L'entretoisement doit être continu; s'il faut joindre plusieurs profilés, ceux-ci doivent être réunis, soit par soudure, soit à l'aide d'une éclisse retenue par au moins deux vis de chaque côté du joint, comme illustré dans la figure 7.13.

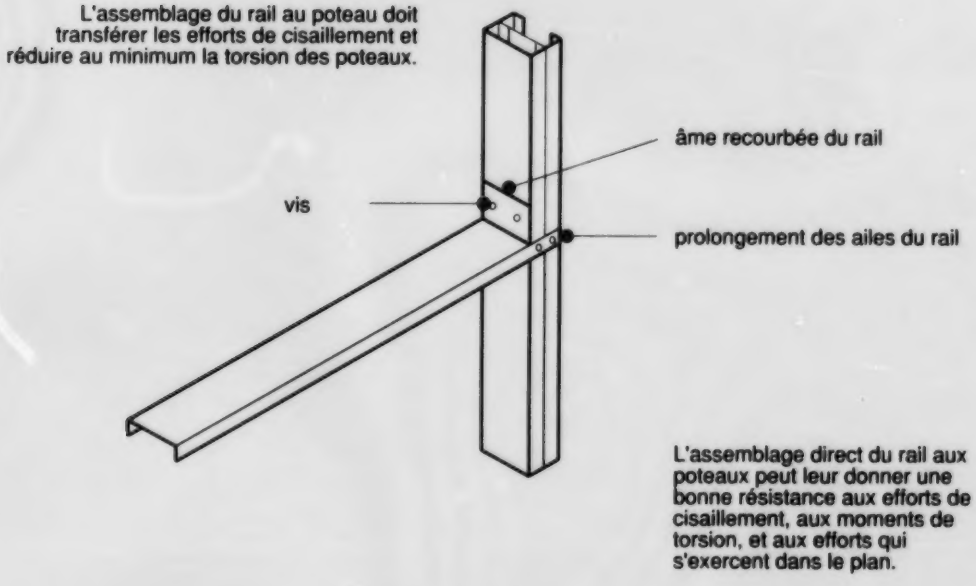


Figure 7.11 Assemblage d'un rail aux poteaux d'ossature des baies de fenêtre

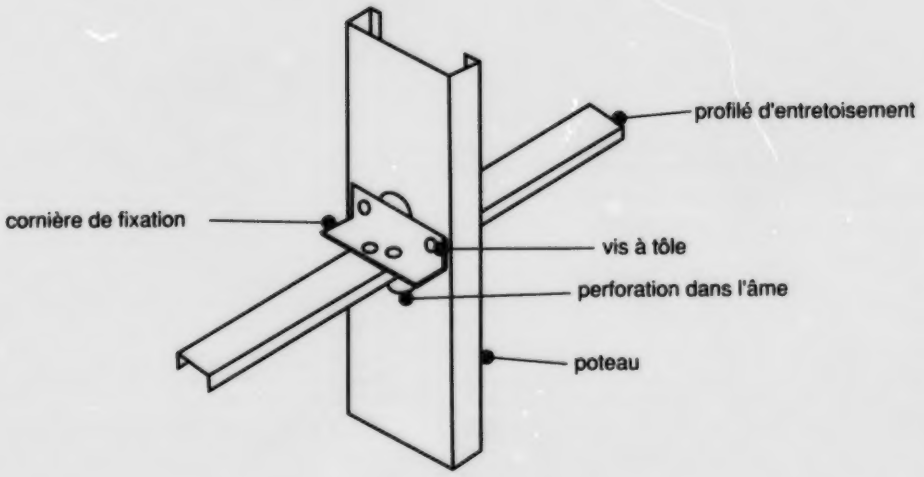


Figure 7.12 Assemblage d'un profilé d'entretoisement interne au poteau à l'aide d'une cornière de fixation vissée

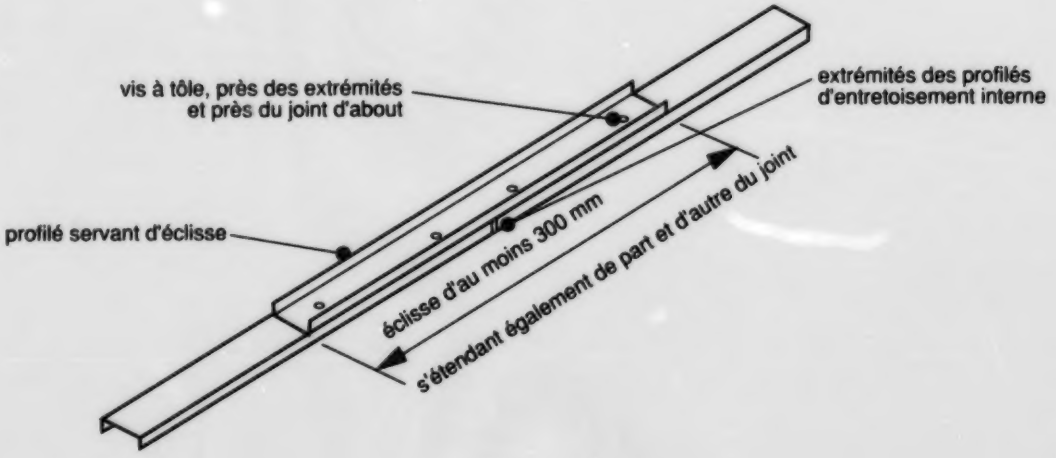
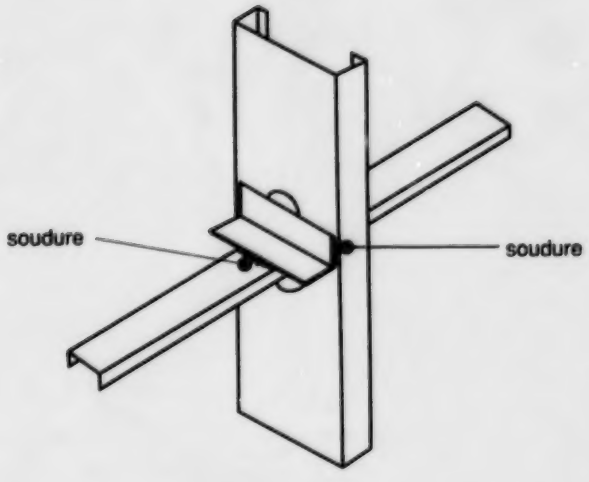


Figure 7.13 Assemblage de profilés d'entretoisement interne au moyen d'une éclisse vissée

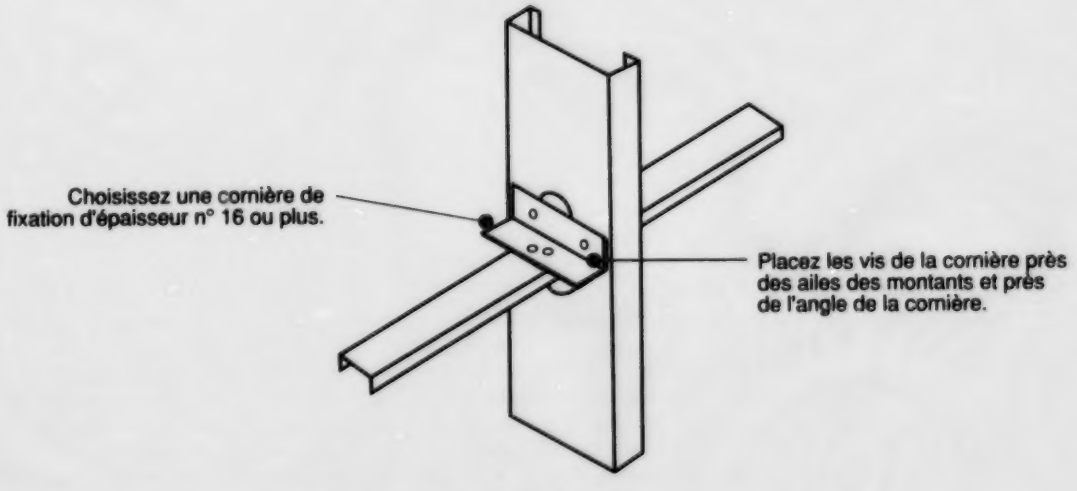
La clause 8.3.2 de la norme CAN3-S136-M84, *Éléments porteurs en acier formés à froid*,[29] précise que l'espacement des contreventements distincts doit être d'un quart de la longueur des poteaux au plus. «On pourra utiliser moins de contreventements si on peut démontrer, par analyse ou par essais, que le résultat sera quand même acceptable.» (traduction libre)

Dans le cas des bâtiments résidentiels dont la hauteur d'étage est de 3 m ou moins, la pratique courante consiste à n'utiliser qu'une seule ligne d'entretoisement, à peu près à mi-hauteur de l'ossature, lorsque les poteaux sont fixés au sommet et à la base de façon à résister aux efforts de torsion. Mais les essais prouvent qu'un entretoisement à cet espacement n'apporte pas aux poteaux un contreventement suffisant contre les efforts de torsion pour qu'ils puissent développer leur pleine capacité de flexion.

L'entretoisement doit pouvoir résister aux efforts de torsion accumulés entre les lignes d'entretoisement. La résistance aux efforts de torsion la plus efficace est celle qui prend appui sur les deux ailes des poteaux. C'est pourquoi la façon de joindre les profilés d'entretoisement interne aux poteaux peut influer grandement sur leur efficacité. En dehors de données expérimentales vérifiées, il existe peu de renseignements concernant la conception détaillée de l'assemblage des profilés d'entretoisement interne. L'utilisation de cornières de fixation de plus grande épaisseur et un meilleur positionnement des vis (près de l'angle de la cornière et près des ailes des poteaux, comme indiqué dans la figure 7.14) ou l'utilisation de la soudure ont permis d'améliorer sensiblement l'assemblage. Ces renseignements en matière de conception sont pourtant nécessaires pour déterminer les limites réelles de la capacité de flexion des poteaux, selon les dimensions spécifiques, l'espacement et les détails d'assemblage des profilés d'entretoisement interne. Il importe de souligner ici que, lorsque la flexion des poteaux d'acier ou leur appui aux extrémités déterminent leur conception, un entretoisement permettant de développer la pleine résistance des poteaux à la flexion n'est peut-être pas nécessaire.



a) Assemblage soudé



b) Assemblage vissé

Figure 7.14 Meilleures façons d'assembler les profilés d'entretoisement interne aux poteaux

Une autre méthode qui peut remplacer l'entretoisement interne consiste à utiliser le contreventement en surface au moyen de profilés de tension dont les ailes ont été échancrées aux endroits où ils rencontrent les poteaux, de façon à pouvoir les y visser, comme illustré dans la figure 7.15. Les essais sur les contreventements faits de profilés[30] ont montré que ce mode d'assemblage est efficace, mais qu'il a le désavantage d'être difficile à utiliser lorsque les poteaux n'ont pas le même espacement, bien qu'on puisse faire de nouvelles échancrures et renforcer celles déjà faites, à condition que les espacements irréguliers ne soient pas trop nombreux. Les profilés de contreventement en surface sont nécessaires sur les deux côtés des poteaux. On peut aussi utiliser des brides de tension au lieu de profilés. Dans l'un et l'autre cas, l'ancrage du contreventement de surface est particulièrement important. Comme dans le cas de l'entretoisement interne, la pleine capacité de flexion ne peut être obtenue par une seule ligne de contreventement lorsque les poteaux ont une longueur égale à la hauteur d'un étage normal. Les mêmes observations s'appliquent donc ici.

L'espacement des entretoises doit être celui qui permet aux poteaux d'avoir la résistance requise à la flexion, avec des entretoises supplémentaires peut-être près du joint de dilatation, si les poteaux sont du type «libres en tête.»

Pour ce qui est du revêtement intérieur, qui devrait être moins sujet à être mouillé, il est peut-être possible de trouver des dispositifs de fixation qui lui permettent de jouer un rôle de support latéral des poteaux. D'autres essais sur la méthode de vissage actuelle ou, éventuellement, la mise au point de dispositifs d'ancrage mécanique qui ne dépendent pas de la surface d'appui entre les vis et la plaque de plâtre arriveront peut-être à satisfaire à cette exigence. Dans ce cas, les exigences relatives au contreventement des poteaux au moyen de brides ou profilés d'acier posés du côté intérieur de l'ossature pourront peut-être être réduites, une fois les résultats de la recherche publiés.

7.6 ANCRAGE À LA STRUCTURE

Dans le cas d'une charge transmise du poteau au rail, puis au plancher porteur, les meilleurs dispositifs d'ancrage du rail sont des vis à béton autotaraudeuses vissées dans des trous percés après la coulée du béton, ou des boulons d'ancrage mis en place au moment de la coulée du béton, comme illustré dans la figure 7.16. Le trou dans le rail doit être égal au diamètre de la vis ou du boulon, et une rondelle doit être utilisée pour aider à transférer l'effort de compression lors du serrage de l'écrou ou de la vis. Divers types de clous, vis et autres dispositifs d'ancrage au béton mis en place par pistoscellement existent sur le marché et ont été utilisés sur divers chantiers. Il faut cependant être prudent dans leur usage. Ces dispositifs d'ancrage doivent résister à l'arrachement, de même qu'au cisaillement direct; ils doivent donc être évalués en fonction de ces efforts ainsi que des surcharges répétées. De plus, leur aptitude à long terme à tenir même lorsqu'ils ne peuvent être enfoncés que de peu dans le béton doit être évaluée, indépendamment des exigences relatives à leur résistance. L'espacement des dispositifs d'ancrage influe sur la flexion du rail et ne doit donc pas dépasser 800 mm, à moins que les calculs de conception ne permettent un autre espacement.

Le même conseil est applicable aux poteaux assujettis au plancher à l'aide de dispositifs rattachés à l'âme [*voir* figures 7.8 c) et d)]. Aucune autre attache n'est nécessaire pour fixer le rail au plancher; ces dispositifs suffisent. Il est à signaler qu'un poteau peut être assujetti de cette façon autant en partie supérieure qu'en partie inférieure.

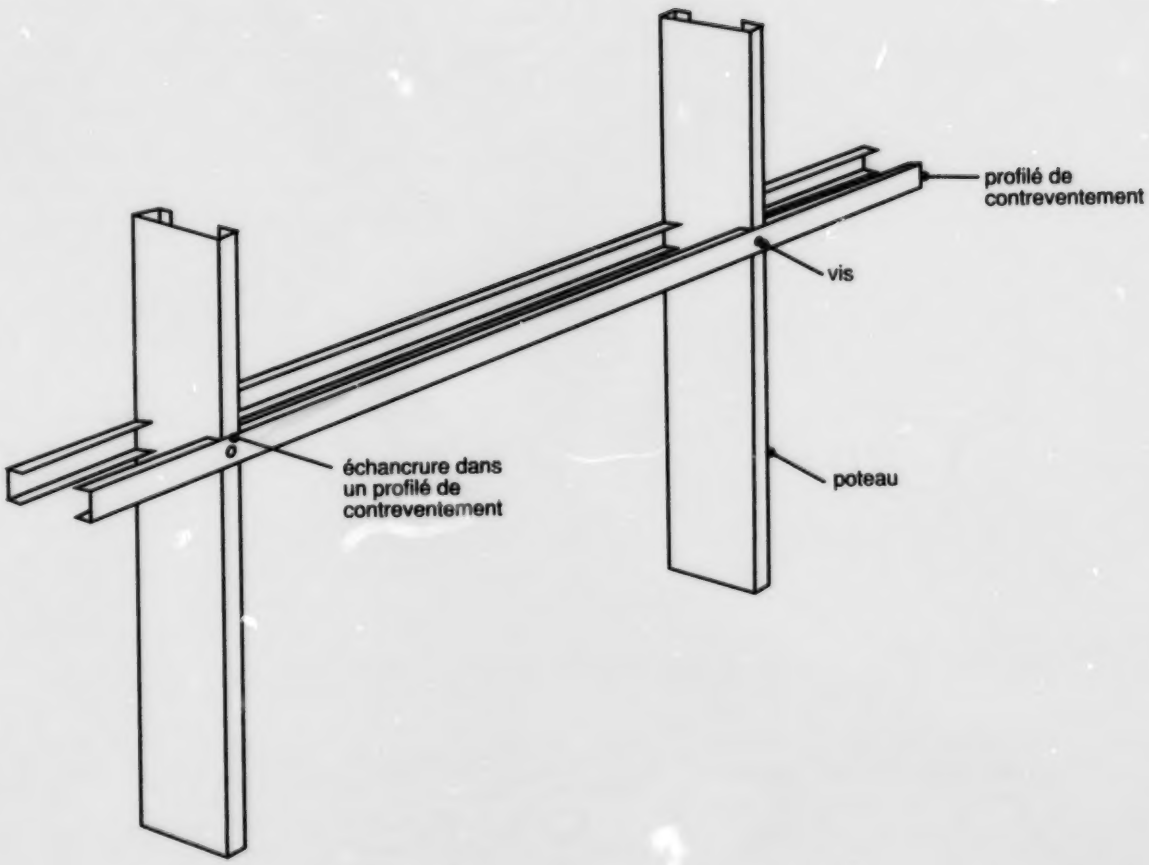
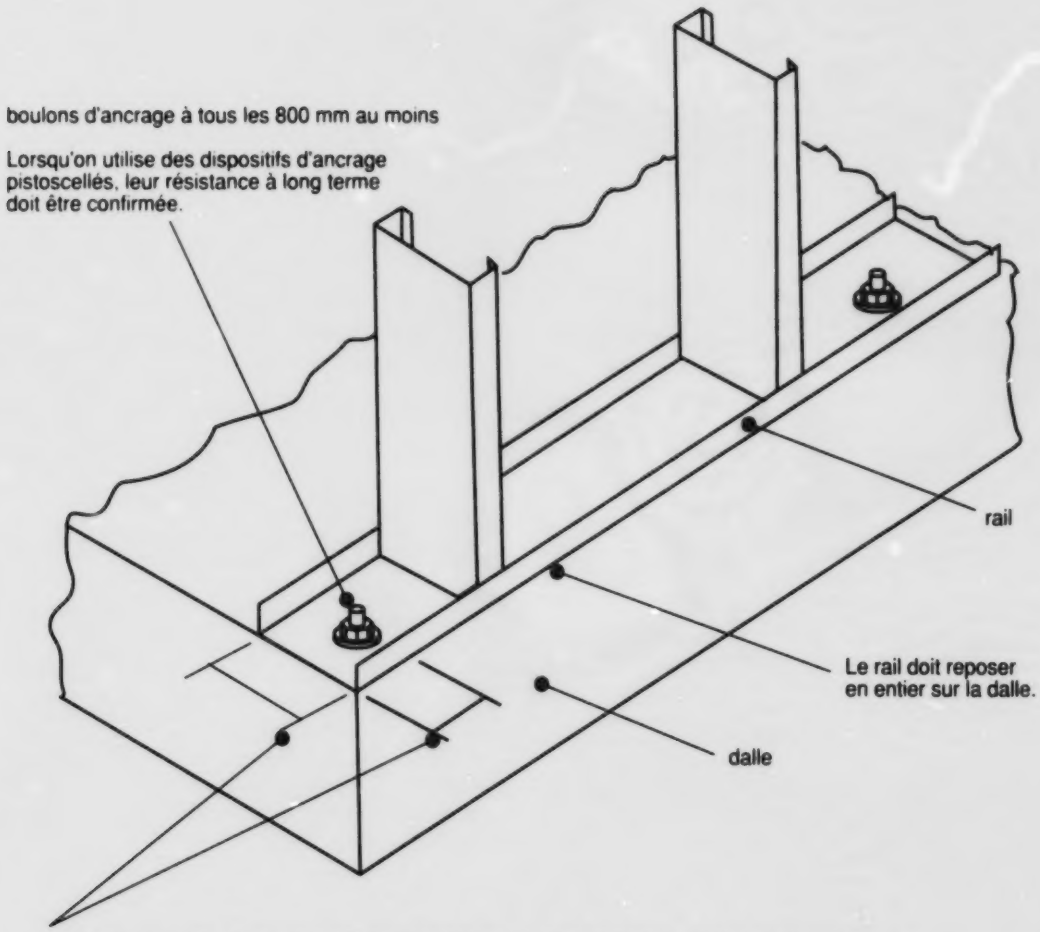


Figure 7.15 Assemblage d'un profilé de contreventement à l'extérieur des poteaux à l'aide de vis



Les distances entre les boulons d'ancrage et les rives de la dalle doivent être conformes aux instructions du fabricant.

Les trous percés dans le rail ne doivent laisser qu'un jeu minimal aux boulons d'ancrage. Il faut utiliser des rondelles sous les écrous et serrer ceux-ci afin d'empêcher le glissement du rail.

Figure 7.16 Ancrage du rail à la dalle

On peut apporter des ajustements à l'emplacement des rails, afin de corriger de légères variations dans l'alignement vertical des planchers. Comme indiqué dans la figure 7.16, cependant, le rail ne doit pas dépasser la rive du plancher, sauf si des essais ou des analyses montrent que le manque de contact de toute l'âme du rail avec le plancher ne modifiera en rien le comportement du système mural PBr-OA. De même, la distance minimale entre les dispositifs d'ancrage mécanique et la rive du plancher doit être maintenue.

L'ancrage de l'ossature d'acier à la structure sur les côtés n'a jamais été une pratique commune; mais, dans le cas particulier où le placage est attaché à des parties verticales de la structure de soutien (p. ex. : colonnes larges ou murs travaillant en cisaillement), le dernier poteau de l'ossature d'acier doit être raccordé à la structure. Le support du placage sur les côtés permet la flexion dans deux directions, ce qui peut avoir pour résultat d'accroître la charge limite de fissuration du placage.[31] L'élimination du mouvement entre le poteau de l'ossature et la partie verticale de la structure peut aussi réduire les contraintes sur les matériaux nécessaires au maintien du pare-air entre le dernier poteau et la structure. L'ancrage des derniers poteaux donne en outre au mur de fond à ossature d'acier la résistance et la rigidité qui l'empêchent de se déformer en parallélogramme.

7.7 PLACAGE DE BRIQUE

Les règles de calcul du placage de brique ont été expliquées en général dans le chapitre 5, et les aspects qui ont trait à certains points de la science du bâtiment sont examinés dans les chapitres 8 et 10. Dans le système mural PBr-OA, le comportement structural du placage a d'importantes conséquences à la fois pour les règles de calcul et pour la science du bâtiment.

Quand les poteaux d'acier ont une grande portée, les calculs indiquent que la fissuration du placage de brique peut se produire sous l'effet de surcharges horizontales relativement faibles. Il s'ensuit qu'il est très probable que les infiltrations de pluie augmenteront considérablement alors, de même que, par voie de conséquence, les risques de dommages causés par l'humidité. Une autre méthode de calcul,[32] qui a un certain mérite du point de vue théorique au moins, consiste dans l'idée de créer dès le début une fissure horizontale dans le placage de brique, à mi-hauteur par exemple. Comme l'emplacement de la fissure serait connu, le joint de mortier pourrait être râclé en profondeur et calfeutré, afin que la fissuration du placage n'aggrave pas les infiltrations d'eau. La création de cette fissure initiale permettrait au mur de fond d'assumer une part beaucoup plus grande des surcharges, en exigeant des surcharges beaucoup plus importantes avant que de nouvelles fissures n'apparaissent, surcharges qui seraient, typiquement, bien supérieures aux surcharges de calcul. De plus, si le placage était supporté sur ses quatre côtés, les essais ont montré qu'il faudrait une augmentation considérable des surcharges avant que le placage de brique ne se fissure et n'enclenche un processus de défaillance.

7.8 ATTACHES

Bien des modèles d'attache ont été mis au point pour raccorder le placage au mur de fond à OA. Avant de choisir un modèle, il faut en examiner la résistance et les tendances à la déformation, de même que toutes les conséquences que pourrait avoir sa marge de réglage, et son emplacement sur le poteau.

Une étude expérimentale[33] d'un grand nombre de modèles d'attache et de conditions de charge a révélé que leurs caractéristiques de comportement étaient aussi très variées. En ce qui a trait à la marge de réglage, certaines attaches ne sont pas assez résistantes ou rigides pour satisfaire aux exigences de charge très inégales qui existent dans un système mural PBr-OA. Bien que la norme CAN3-A370-M84 ne traite pas explicitement des attaches réglables, les coefficients de charge indiqués pour diverses conditions de charge s'appliquent. Il est donc recommandé d'obtenir des renseignements fiables sur la résistance et la rigidité du modèle d'attache (y compris sur le raccordement au poteau) pour toute la marge de réglage, afin d'être en mesure de faire un bon choix basé sur les règles de calcul. Comme indiqué dans la section 5.6, nous recommandons des limites de jeu mécanique et de rigidité semblables à celles que suggèrent les *Technical Notes on Brick Construction No. 28B*[34] du *Brick Institute of America*.

Principalement en raison du genre de climat que l'on connaît au Canada, le concepteur doit examiner les conséquences de l'utilisation de vis en tension pour transférer aux poteaux d'acier les efforts qui s'exercent sur l'attache. Les critiques de ce système lui ont, à juste titre, appliqué l'expression «suspendu par un fil,» étant donné que :

- si la couche de protection est insuffisante, la vis peut perdre sa résistance à l'arrachement;
- le serrage excessif, le tournage des vis à vide ou toute autre mauvaise installation des vis peut en diminuer sérieusement la résistance à l'arrachement;
- l'installation des vis à travers les plaques de plâtre ou le matériau isolant peut entraîner le desserrement des vis sous l'effet de charges répétées, ainsi que, pour les plaques de plâtre ou l'isolant, une perte de rigidité et de résistance aux efforts de compression;
- la dissemblance des matériaux et la grossièreté du trou formé par les vis autotaraudeuses peuvent occasionner de la corrosion sur le pourtour du trou percé dans le poteau; et
- puisqu'il est impossible d'inspecter les vis après leur installation, il se peut qu'on ne se rende pas compte que certaines ne pénètrent même pas dans les poteaux.

Les risques de corrosion dépendent en grande partie de la possibilité plus ou moins grande que les vis soient mouillées à plusieurs reprises par les infiltrations de pluie ou la condensation due aux fuites d'air. Si les vis sont recouvertes d'un matériau isolant externe ou de tout autre revêtement intermédiaire, la possibilité qu'elles se fassent mouiller diminue. Par ailleurs, les vis travaillant en cisaillement, les dispositifs à deux vis, les ensembles boulon-écrou et les autres dispositifs de transfert de tension sont probablement de meilleurs types d'attache.

Dans bien des cas, l'endroit le plus pratique (et souvent, le seul possible) où enfoncer les vis est le matériau de revêtement intermédiaire fixé aux poteaux. Bien que certains manuels de conception recommandent d'étendre sur les plaques de plâtre, par exemple, un enduit de protection contre l'humidité dans le but de les protéger contre toute détérioration, les essais ont montré que, même si les plaques de plâtre ne se détériorent pas, leur résistance et leur rigidité sont grandement réduites par les perforations ou échancrures qui y sont faites.[35] Il faut en outre tenir compte de l'effet du desserrement éventuel des vis sous l'effet de charges répétées.

Des vis supplémentaires sont nécessaires autour des ouvertures en raison des charges additionnelles qui doivent êtres transférées du PBr au mur à OA en cet endroit. La norme CAN3-A371-M84[36] donne des renseignements à ce sujet.

7.9 *EXIGENCES DE CONSTRUCTION PRINCIPALES*

En se basant sur l'examen qui précède et sur d'autres considérations, voici les principales exigences structurales à respecter pour la construction du système mural PBr-OA.

- Aucun poteau courbé, tordu ou endommagé d'une façon ou d'une autre ne doit être utilisé.
- Les rails doivent être bien ancrés. Tout dépassement du rail au-delà de la rive du plancher doit être approuvé par le concepteur.
- Les joints de dilatation ménagés sous un rail doivent avoir la largeur prévue; sinon, les poteaux pourraient éventuellement flamber à cause des flexions du plancher ou du retrait de l'ossature.
- Lorsque la hauteur plancher-plafond varie à cause des tolérances de construction permises, il pourrait être nécessaire de couper les poteaux en chantier, afin d'obtenir un joint de dilatation suffisant. Les espaces entre les extrémités des poteaux et le rail ne doivent pas non plus dépasser les dimensions prévues, sinon la résistance et la rigidité du système mural pourraient être compromises.
- La distance entre les extrémités des poteaux et les perforations qui y sont pratiquées doit être d'au moins deux fois la largeur du poteau.
- Les poteaux jumelés installés sur les côtés des ouvertures doivent être attachés ensemble, afin de supporter les charges ensemble.
- Il est essentiel de bien installer les entretoises, y compris les éclisses des profilés d'entretoisement joints bout à bout, afin de prévenir la défaillance prématurée des poteaux par torsion.
- Les attaches qui provoquent le flambage d'âme ne doivent pas être fixées près des perforations pratiquées dans l'âme des poteaux.
- Le rendement de l'ossature d'acier dépend de la façon de réunir de nombreux composants au moyen de vis ou de points de soudure. En ce qui a trait aux vis, les points essentiels à retenir sont : utiliser des vis du calibre prévu; serrer suffisamment les vis, mais pas au point qu'elles tournent dans le vide; et s'assurer que les vis pénètrent dans le poteau. Pour ce qui est des points de soudure, le travail doit être confié à des soudeurs qualifiés et expérimentés dans la soudure de pièces d'acier de faible épaisseur. Toute surface soudée doit être retouchée, afin de lui redonner la même protection contre la corrosion qu'au début.
- Aucun matériau ne peut être remplacé par un autre sans l'approbation du concepteur. En particulier, les spécifications relatives à la couche de protection contre la corrosion doivent toujours être respectées, quels que soient les procédés d'installation des composants.
- Les inspections et les dessins d'atelier techniques doivent être confiés à un ingénieur qui est bien au fait de la construction à poteaux d'acier.

RÉFÉRENCES

1 Institut canadien de la tôle d'acier pour le bâtiment, *Lightweight Steel Framing Manual*, ICTAB 50V-1987, août 1987, 23 pages.

2 Institut canadien de la tôle d'acier pour le bâtiment, *Lightweight Steel Framing Manual*, ICTAB 50V-1987, août 1987, 23 pages.

3 Association canadienne de normalisation, CAN3-A371-M84, *Éléments porteurs en acier formés à froid*, ACNOR, Rexdale, 1984, 86 pages.

4 Drysdale, R. G. et N. Breton, *A Report on Strength and Stiffness Characteristics of Steel Stud Backup Walls Designed to Support Brick Veneer*, Rapport présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, mars 1989.

5 Winter G., W. Lansing et R. B. McCalley, *Performance of Laterally Loaded Channel Beams*, Symposium on Engineering Structures (Colston Papers, Vol. 2), Butterworths Scientific Publications, London, 1949.

6 Winter, G. et R. H. Pian, *Crushing Strength of Thin Steel Webs*, Engineering Experiment Station Bulletin No. 35, Part 1, Cornell University, Ithaca, New York, avril 1946.

7 Yu, W., W., *Cold-Formed Steel Design*, John Wiley and Sons, juin 1985.

8 Institut canadien de la tôle d'acier pour le bâtiment, *Lightweight Steel Framing Manual*, ICTAB 50M-1987, août 1987, 23 pages.

9 Drysdale, R. G. D. et N. Breton, *A Report on Strength and Stiffness Characteristics of Steel Stud Backup Walls Designed to Support Brick Veneer*, présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, Ontario, mars 1989.

10 Drysdale, R. G. et S. Chidiac, *Defining Better Wall Systems*, Rapport présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, mai 1989.

11 Hatzinikolas, M. A., R. Lee et J. Warwaruk, *Factors Affecting the Performance of Metal - Stud Masonry Veneer Wall Systems*, Proceedings, Fourth Conference on Building, Science and Technology, Toronto, Ontario, 1988.

12 Zakrzewski, A. S., *Masonry Veneer in Highrise Buildings*, Rapport présenté à la Société canadienne d'hypothèques et de logement par Proen Consultants, Willowdale, Ontario, 1987.

13 Arumala, J. O. et R. H. Brown, *Performance Evaluation of Brick Veneer with Steel Stud Backup*, Dept. of Civil Engineering, Clemson University, Clemson S. C., 23 avril 1982.

14 Drysdale, R. G. et M. J. Wilson, *A Report on Lateral Load and Rain Penetration Tests of Full Scale Brick Veneer/Steel Stud Walls*, Rapport présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, juillet 1990.

15 Hatzinikolas, M. A., R. Lee, J. Longworth et J. Warwaruk, *The Behaviour of Styrofoam SM Insulation As Exterior Sheathing in Brick Veneer and Metal Stud Wall System*, Department of Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alberta, 1986.

16 Association canadienne de normalisation, CAN3-S136-M84, *Éléments porteurs en acier formés à froid*, ACNOR, Rexdale, 1984, 86 pages.

17 Association canadienne de normalisation, *Commentary of CSA Standard CAN3-S136-M84*, Publication spéciale de l'ACNOR S136-1-M86, ACNOR, Rexdale, 1986.

18 Association canadienne de normalisation, CAN3-A371-M84, *Éléments porteurs en acier formés à froid*, ACNOR, Rexdale, 1984, 86 pages.

19 Drysdale, R. G. et N. Breton, *A Report on Strength and Stiffness Characteristics of Steel Stud Backup Walls Designed to Support Brick Veneer*, Rapport présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, mars 1989.

20 Institut canadien de la tôle d'acier pour le bâtiment, *Lightweight Steel Framing Manual*, ICTAB 50V-1987, août 1987, 23 pages.

21 Winter, G. et R. H. Pian, *Crushing Strength of Thin Steel Webs*, Engineering Experiment Station Bulletin No. 35, Part 1, Cornell University, Ithaca, New York, avril 1946.

22 Brick Institute of America, *Brick Veneer Steel Stud Wall Panels*, BIA Technical Notes on Brick Construction No. 28B, février 1987.

23 Institut canadien de la tôle d'acier pour le bâtiment, *Lightweight Steel Framing Manual*, ICTAB 50V-1987, août 1987, 23 pages.

24 Drysdale, R. G. et N. Breton, *A Report on Strength and Stiffness Characteristics of Steel Stud Backup Walls Designed to Support Brick Veneer*, Rapport présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, mars 1989.

25 Drysdale, R. G. et N. Breton, *A Report on Strength and Stiffness Characteristics of Steel Stud Backup Walls Designed to Support Brick Veneer*, Rapport présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, mars 1989.

26 Brown, R. H. et J. A. Murden, *Effect of Lateral Load Cycling on Composite Action Between Gypsum Sheathing and Metal Studs*, Fourth Canadian Masonry Symposium, Fredericton, N. B., juin 1986, pp. 744-758.

27 Drysdale, R. G. et N. Breton, *A Report on Strength and Stiffness Characteristics of Steel Stud Backup Walls Designed to Support Brick Veneer*, Rapport présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, mars 1989.

28 Hatzinikolas, M. A., R. Lee, J. Longworth et J. Warwaruk, *The Behaviour of Styrofoam SM Insulation As Exterior Sheathing in Brick Veneer and Metal Stud Wall System*, Department of Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alberta, 1986.

29 Association canadienne de normalisation, CAN3-A371-M84, *Éléments porteurs en acier formés à froid*, ACNOR, Rexdale, 1984, 86 pages.

30 Drysdale, R. G. et N. Breton, *A Report on Strength and Stiffness Characteristics of Steel Stud Backup Walls Designed to Support Brick Veneer*, Rapport présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, mars 1989.

31 Drysdale R. G. et S. Chidiac, *Defining Better Wall Systems*, Rapport présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, mai 1989.

32 Zakrzewski, A. S., *Masonry Veneer in Highrise Buildings*, Rapport présenté à la Société canadienne d'hypothèques et de logement par Proen Consultants, Willowdale, Ontario, 1987.

33 Drysdale, R. G. et M. J. Wilson, *A Report on Behaviour of Brick Veneer/Steel Stud Tie Systems*, Rapport présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, mars 1989.

34 Brick Institute of America, *Brick Veneer Steel Stud Wall Panels*, BIA Technical Notes on Brick Construction No. 28B, février 1987.

35 Drysdale, R. G. et M. J. Wilson, *A Report on Behaviour of Brick Veneer/Steel Stud Tie Systems*, Rapport présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, mars 1989.

36 Association canadienne de normalisation, CAN3-A371-M84, *Mise en œuvre de la maçonnerie pour les bâtiments*, ACNOR, Rexdale, 1984, 50 pages.

PARTIE 3 CONSIDÉRATIONS SUR LA SCIENCE DU BÂTIMENT

CHAPITRE 8

EXIGENCES GÉNÉRALES DE LA SCIENCE DU BÂTIMENT

8.1 INTRODUCTION

En plus de leurs fonctions structurales, les murs constituent la séparation entre le milieu intérieur et le milieu extérieur. Bien que les exigences relatives à la protection contre l'incendie, à l'isolement acoustique et à la sécurité en général soient importantes, l'essentiel du présent chapitre porte sur le rôle du mur dans la régularisation des conditions thermiques, hygrométriques et d'étanchéité à l'air qui permettent de maintenir, dans la maison, l'atmosphère désirée. Les effets combinés du climat canadien,[1] des techniques modernes de conditionnement de l'air intérieur telles que l'humidification, et des changements dans les méthodes et les matériaux de construction exigent qu'on prête une attention spéciale aux principes de conception et aux détails de construction. Pour obtenir un rendement satisfaisant à long terme, il est nécessaire de s'assurer du bon comportement des composants muraux, pris individuellement ou dans leur action les uns sur les autres. Autrement, la durabilité et l'aptitude générale de la construction à donner satisfaction à long terme pourraient être compromises, de même que les exigences structurales et esthétiques.

Bien que les fonctions de base des composants des systèmes muraux à PBr aient été décrites dans le chapitre 2, nous traiterons, dans le présent chapitre, des exigences générales de conception de la science du bâtiment et des aspects de la construction qui s'appliquent à tous les systèmes muraux à PBr.

8.2 PLACAGE

Les murs sont principalement conçus pour empêcher l'eau (pluie et neige) et le vent (air chaud ou froid) d'entrer, et pour servir de protection thermique. Le rôle que joue le placage dans ces fonctions varie considérablement selon les circonstances; même, de façon générale, le placage n'est pas considéré comme la protection finale contre les infiltrations d'air ou d'humidité et il ne contribue pas beaucoup non plus à la résistance thermique des murs isolés. À l'extrême, le placage peut être considéré comme un simple parement pouvant servir d'écran contre la pluie, le vent et le soleil.

Le système mural doit être conçu en se basant sur une évaluation dans laquelle l'étanchéité à l'eau est considérée comme une protection à double paroi, le placage étant la première paroi, et l'ensemble lame d'air et mur de fond, la seconde. Malgré ce principe, le placage doit être détaillé et construit de façon à offrir une résistance à l'eau et au vent qui soit assez efficace pour que la résistance de la seconde paroi ne soit pas continuellement mise à l'épreuve. Si l'eau peut facilement traverser le placage, l'ensemble lame d'air et mur de fond n'est, en réalité, qu'un système de protection à paroi simple, ce qui signifie que des défaillances vont certainement se produire si le moindre défaut existe dans l'ensemble lame d'air et mur de fond.

Bien que la pluie puisse rapidement mouiller les parties exposées de la surface d'un mur de maçonnerie, ce n'est que pendant les averses prolongées ou fréquentes que les éléments de maçonnerie et le mortier du mur peuvent être complètement saturés. Quand l'eau pénètre dans le mur, elle s'infiltre généralement par de fins passages capillaires (des endroits non scellés, en réalité) entre les éléments de maçonnerie et le mortier, par des joints de mortier non remplis, ou par les joints de dilatation et les fissures. Il est donc important que :

- le mortier remplisse complètement les joints verticaux et les joints d'assise des briques;
- le mortier et les briques soient compatibles de façon à avoir une bonne adhérence capable de résister à la fissuration;
- la finition concave ou en «V» de la face extérieure des joints de mortier soit exécutée de façon à tasser le mortier contre les éléments de maçonnerie et à boucher ainsi les fissures capillaires; et
- on n'utilise pas, si le mur doit être exposé à la pluie, de joints de mortier plats, en retrait ou débordants, dont le mortier n'est pas tassé et qui retiennent une partie de l'eau qui ruisselle le long du mur. Les différents types de joints sont illustrés dans la figure 8.1

Ce ne sont pas les gouttes d'eau qui frappent directement les fissures qui sont la principale cause des infiltrations, mais plutôt l'eau qui coule à la surface du mur; celle-ci est aspirée dans les passages capillaires aux joints et finit, sous l'effet de la pression du vent, par traverser le mur. L'eau qui coule sur des fissures ou des trous plus larges peut aussi être entraînée dans le mur et même à travers celui-ci, par gravité ou sous l'effet de la pression du vent.

Bien qu'il soit possible de construire des murs de maçonnerie massive parfaitement étanches, le fait qu'on utilise un grand nombre de matériaux divers et qu'un bâtiment comporte toujours des kilomètres de joints de mortier ne permet pas facilement d'obtenir un rendement parfaitement satisfaisant.[2,3] C'est pourquoi, on a recours au principe de l'écran pare-pluie ouvert, selon lequel l'eau qui traverse le placage coule tout simplement le long de la face intérieure du placage et est ensuite évacuée à l'extérieur par des chantepleures situées à la base du solin qui couvre la cornière d'appui.[4]

Pour que l'écran pare-pluie fonctionne parfaitement, il est conseillé de ne pas faire reposer le placage de brique sur la dalle de plancher, comme le mur de fond.[5] La première raison en est que l'eau qui coule dans la lame d'air peut s'infiltrer à l'intérieur du bâtiment par le joint ménagé à la base du mur de fond; elle peut aussi passer sous le solin et entrer dans le bâtiment. De plus, la dalle de plancher exposée constitue un important pont thermique. Une méthode qui permet d'éliminer le problème d'infiltration directe de l'eau, mais non le problème du pont thermique, consiste à ménager un ressaut à la rive de la dalle de plancher, de façon que la base du placage soit plus basse que la base du mur de fond en MBé.

On trouvera à la figure 8.2 des illustrations et des observations concernant les fonctions des composants du système mural à PBr qui agissent comme une protection à deux parois contre la pluie, conformément au principe de l'écran pare-pluie. Que l'on conçoive le placage comme un écran pare-pluie ouvert ou comme un écran pare-pluie non ouvert, cela ne change peut-être pas grand 'chose à son fonctionnement, mais cela peut influencer la conception des composants du mur. De pair avec la lame d'air qui sépare le placage de brique et le mur de fond, le placage doit être conçu de façon à permettre l'évacuation de l'humidité qui réussit à pénétrer dans la lame d'air par infiltration ou condensation.[6]

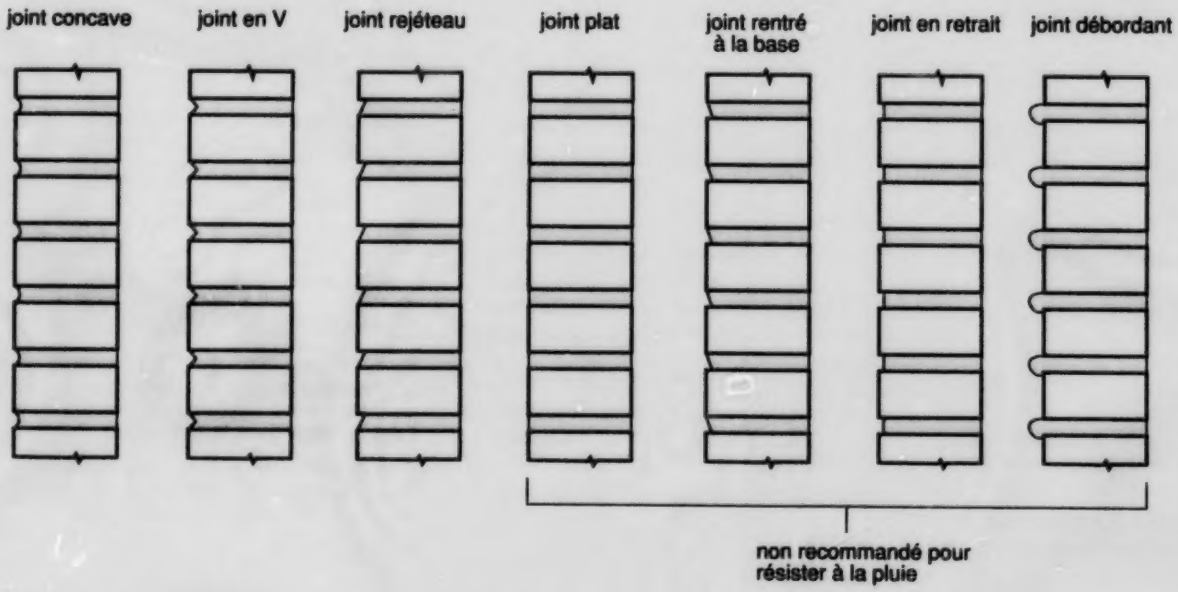


Figure 8.1 Différents types de joint de mortier

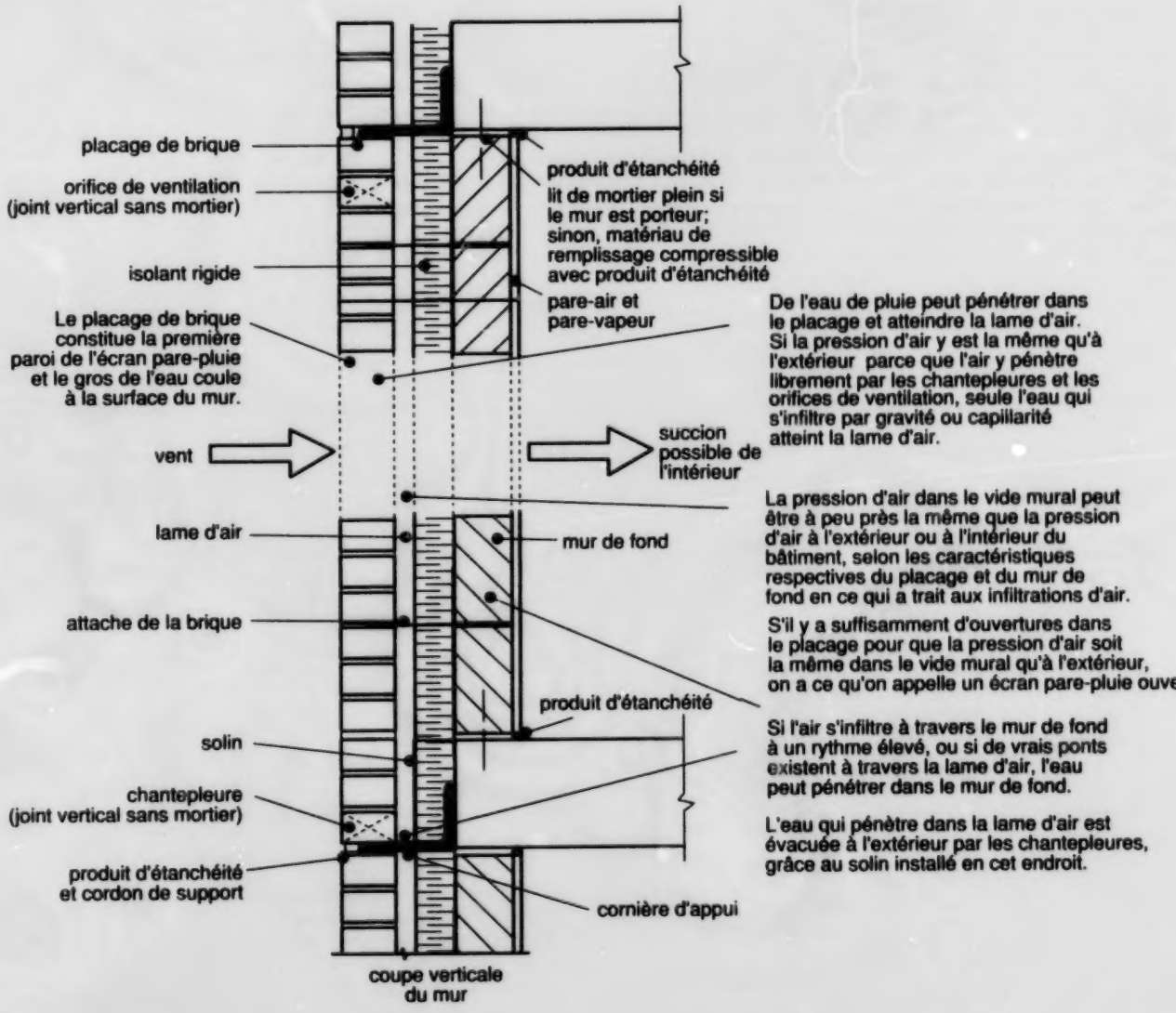


Figure 8.2 Utilisation du placage de brique comme écran pare-pluie

L'eau qui coule jusqu'au fond de la lame d'air peut être évacuée par les chantepleures pratiquées à la base du mur. Afin que l'eau qui pénètre dans la lame d'air puisse sécher, des orifices de ventilation ménagés près du sommet du mur permettent à l'air de circuler entre le placage et le mur de fond. C'est pourquoi de petits orifices ménagés volontairement dans le placage permettent à l'air et, dans une certaine mesure, à l'eau de traverser le placage; ils permettent aussi d'accroître la pression d'air dans le vide mural. En fait, le concept de l'écran pare-pluie ouvert est basé sur l'utilisation volontaire d'orifices dans le placage (orifices de ventilation et chantepleures) pour équilibrer la pression d'air dans le vide mural avec la pression de l'air extérieur, afin que celle-ci (sous forme de vent) n'ait pas tendance à pousser la pluie à travers le placage.

Pour obtenir l'efficacité maximale de la seconde paroi de protection contre la pluie, la pression d'air dans le vide mural et l'étanchéité à l'air du mur de fond sont d'une extrême importance Plus la pression d'air dans le vide mural augmente, plus elle s'oppose au passage de l'eau à travers le placage sous l'effet du vent, ainsi qu'à la tendance de l'eau qui réussit à traverser le placage par capillarité ou gravité à atteindre le mur de fond.

Comme déjà indiqué pour la surcharge due au vent dans la section 3.3, il existe plusieurs raisons qui expliquent pourquoi le parfait équilibre entre la pression de l'air extérieur et la pression d'air dans le vide mural n'est pas toujours possible.[7,8] Comme décrit dans la figure 8.3 a), l'eau de pluie peut en réalité être entraînée dans le vide mural par l'air qui s'infiltre par les chantepleures et les orifices de ventilation. Le mouvement de l'air dans le vide mural peut alors transporter l'eau jusqu'au mur de fond et l'y répandre sur toute la surface; l'air qui s'infiltre à travers le mur de fond peut entraîner de l'humidité avec lui dans le mur et à travers celui-ci. C'est pourquoi, à moins de pouvoir réaliser un excellent équilibre des pressions d'air, il est recommandé que les dimensions des chantepleures et des orifices de ventilation soient réduites au minimum nécessaire pour éliminer l'eau qui pénètre dans le vide mural. Il faut, dans la mesure du possible, compartimenter le vide mural de façon à réduire le risque que des différences de pression à la surface du bâtiment produisent des courants d'air horizontaux à travers le vide mural. En plus de boucher les angles, comme indiqué dans la figure 8.3 b), les orifices de ventilation et les chantepleures doivent généralement être ménagés loin des angles où d'importantes différences de pression d'air peuvent provoquer un mouvement d'air considérable à travers le vide mural.

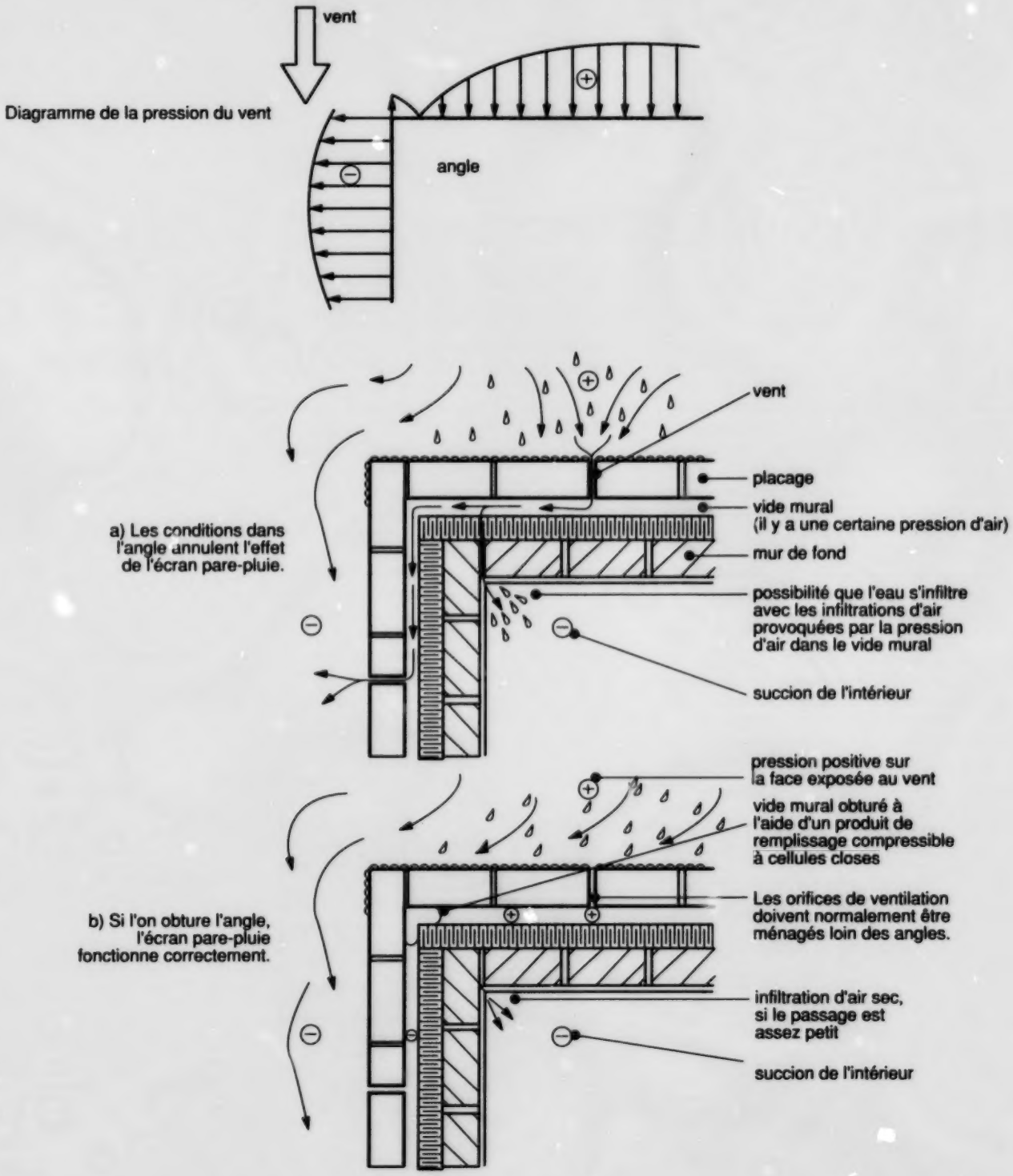


Figure 8.3 Illustration des problèmes d'équilibrage de la pression aux angles du bâtiment
Source : «Guide to Energy Efficiency in Masonry and Concrete Buildings,» Masonry Council of Canada.

Les essais de laboratoire [9,10] ont montré que d'importantes infiltrations d'air à travers le mur de fond peuvent aspirer l'eau violemment à travers la lame d'air et même la faire remonter le long de la surface extérieure du mur de fond, augmentant ainsi la surface mouillée. Le mur de fond ne devrait pas laisser passer l'air, mais comme cette possibilité existe, elle confirme la suggestion voulant que les orifices de ventilation ne soient pas trop grands, réduisant ainsi la pression dans le vide mural au risque, peut-être, de laisser entrer un peu plus d'eau de pluie.

Typiquement, les chantepleures sont pratiquées dans le rang le plus bas du placage, à tous les 800 mm entre axes, tandis que l'emplacement et l'espacement des orifices de ventilation sont plutôt laissés à la discrétion du concepteur. Bien qu'on n'ait pas de renseignements précis sur le volume de ventilation requis, le bon sens nous dit d'éviter de pratiquer des orifices de ventilation près des angles où la forte circulation d'air pourrait entraîner d'importantes quantités d'eau dans la lame d'air. De même, il importe de tenir compte de la façon dont l'eau s'écoule le long du placage, afin d'éviter de mettre les orifices de ventilation aux endroits où l'écoulement est important, par exemple, juste sous l'appui d'une fenêtre.

8.3 LAME D'AIR (VIDE MURAL)

La lame d'air qui sépare le placage de brique du mur de fond a pour but d'aider à évacuer à l'extérieur l'eau qui traverse le placage, grâce au solin et aux chantepleures à la base du mur. Il n'est donc pas nécessaire, comme déjà indiqué dans la section 8.2, que le PBr soit parfaitement imperméable. Cependant, plusieurs facteurs ont amené les concepteurs à douter de la sagesse de considérer les murs à PBr perméables comme étant une qualité de matériaux et de construction acceptable; c'est trop faire confiance, pensent-ils, à l'efficacité de l'écran pare-pluie ouvert comme principal moyen d'éviter les problèmes dus aux infiltrations d'eau. En ce qui a trait à l'efficacité de la méthode qui consiste à équilibrer la pression d'air dans le vide mural et la pression de l'air extérieur, les variations de pression dues au vent sur les faces du bâtiment, selon le temps et l'endroit, exigeraient que le vide mural soit divisé en compartiments passablement petits. Bien que ce soit faisable, cela introduit dans le processus de construction un autre composant mural qui aurait ses propres exigences de qualité et ses points faibles. De plus, étant donné que ces chicanes ou «divisions» traverseraient la lame d'air, elles deviendraient probablement un important passage qui permettrait à l'humidité d'atteindre le mur de fond. Finalement, la mesure selon laquelle les pressions dues aux rafales de vent sont équilibrées dépend des dimensions des ouvertures pratiquées dans le placage par rapport au taux d'infiltration d'air à travers le mur de fond, ainsi que du volume d'air contenu dans le vide mural et de la rigidité du mur de fond.

Bien que plusieurs inspecteurs de bâtiments aient dit avoir vu ou mis à l'essai des murs de brique qui «coulaient comme des passoires,» le fait est que nombre de murs à placage de brique ne présentent, à première vue, aucun signe de fuites. Ce qui veut dire qu'il n'y a aucune indication que le bâtiment soit mouillé ou endommagé à l'intérieur ou à l'extérieur, ni que de l'eau ait jamais été rejetée par les chantepleures.

(Note - Il existe des différences régionales; dans les provinces maritimes, par exemple, bien des signes indiquent que la pluie pénètre dans les murs, sans doute à cause des «pluies horizontales» beaucoup plus fréquentes et plus longues que dans le reste du Canada. Les faits prouvent aussi que les systèmes muraux dont le placage repose sur la dalle de plancher sont plus sujets à laisser l'humidité pénétrer dans le mur de fond.)

Même lorsque la construction est soigneusement supervisée, des bavures de mortier tombent et s'accumulent dans le fond du vide mural, ce qui risque de boucher les chantepleures. De plus, au fur et à mesure que la pose de la maçonnerie progresse, les bavures qui débordent et sèchent à l'arrière du placage ont tendance à créer des ponts à travers la lame d'air, surtout si celle-ci n'a que 25 mm de largeur ou moins. Ces bavures séchées, ainsi que les attaches et les ponts de mortier formés sur les attaches, peuvent tous servir de passage à l'eau infiltrée dans le placage pour atteindre le mur de fond, au lieu que cette eau ne soit évacuée à l'extérieur par les chantepleures. La figure 8.4 illustre ces difficultés.

Dans le passé, l'épaisseur de la lame d'air dans la cavité était laissée à la discrétion du concepteur. Cependant, le choix de lames d'air aussi minces que 15 mm seulement, comme cela se fait dans les bâtiments résidentiels de faible hauteur, est déconseillé pour les murs des bâtiments de grande hauteur exposés au vent et à la pluie. C'est pourquoi, comme indiqué dans la figure 8.5, la largeur recommandée pour la lame d'air est de 50 mm. Cette largeur laisse un peu de jeu pour corriger au besoin l'alignement du bâtiment et assure un meilleur drainage de l'eau et une meilleure circulation (séchage) de l'air dans le vide mural.

Bien qu'il soit beaucoup moins probable, avec une lame d'air de 50 mm, que les bavures de mortier sèchent et fassent le pont à travers la lame d'air jusqu'au mur de fond, elles ont par contre tendance à s'accumuler sur le solin au fond de la lame d'air et à boucher les chantepleures. En plus de s'efforcer de réduire les bavures de mortier au minimum, certains procédés permettent d'assurer une bonne évacuation de l'eau, comme d'insérer une corde à châssis dans la chantepleure et de la retirer avant que les bavures ne durcissent, ce qui a pour effet de créer un orifice d'évacuation. Un autre procédé consiste à mettre du gravier dans le fond de la lame d'air ou à placer un grillage en travers de la lame d'air, à la hauteur du premier ou du deuxième rang de briques au-dessus de la cornière d'appui, afin de permettre à l'eau entrée dans la lame d'air de sortir. Ces procédés de construction et d'autres sont illustrés ou expliqués dans la figure 8.6. Si les bavures de mortier sont trop abondantes, cependant, le risque existe que le mortier s'accumule suffisamment au fond de la lame d'air pour rejeter l'eau sur la base du mur de fond.

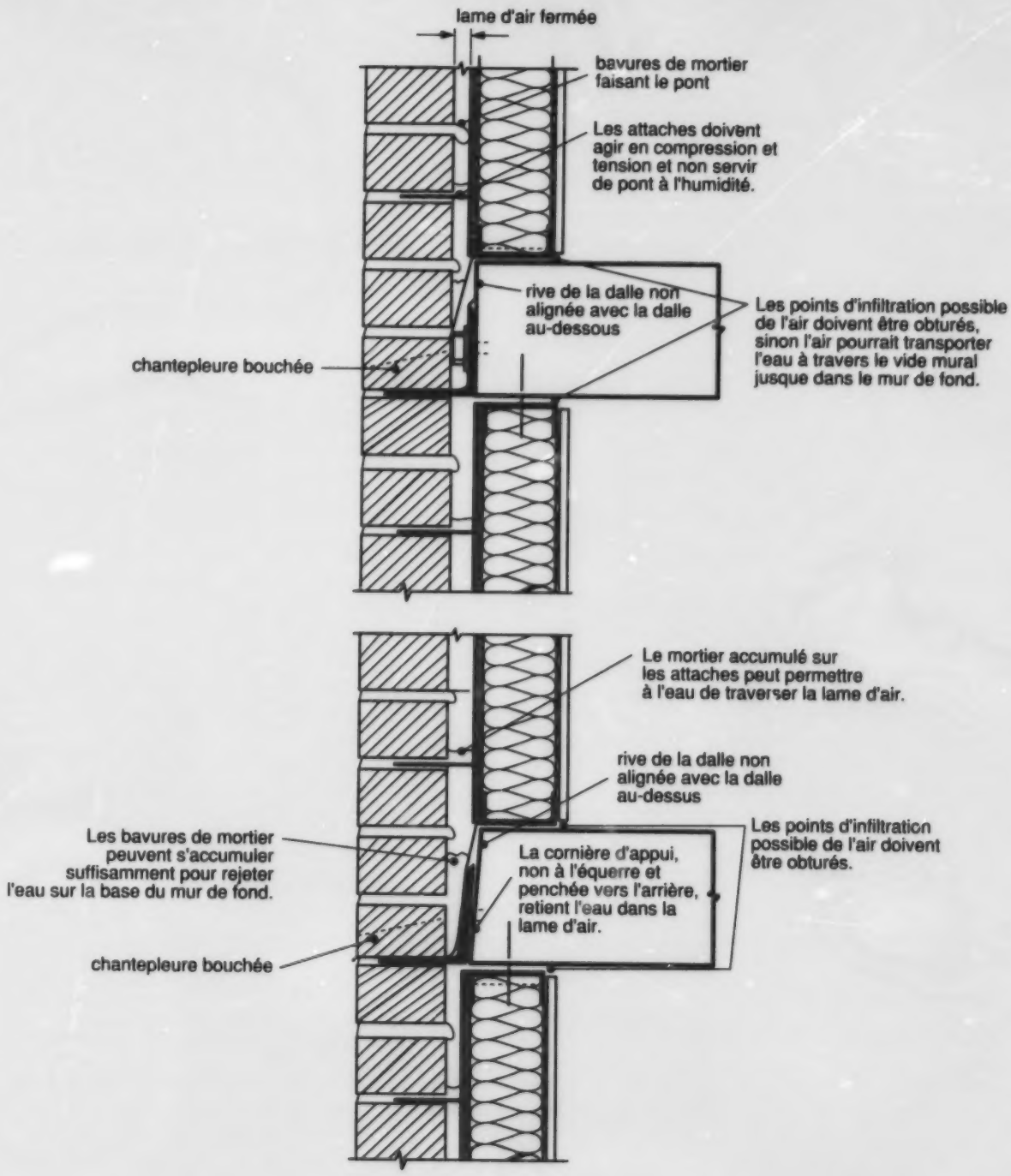


Figure 8.4 Mécanismes de transport de l'eau à travers la lame d'air

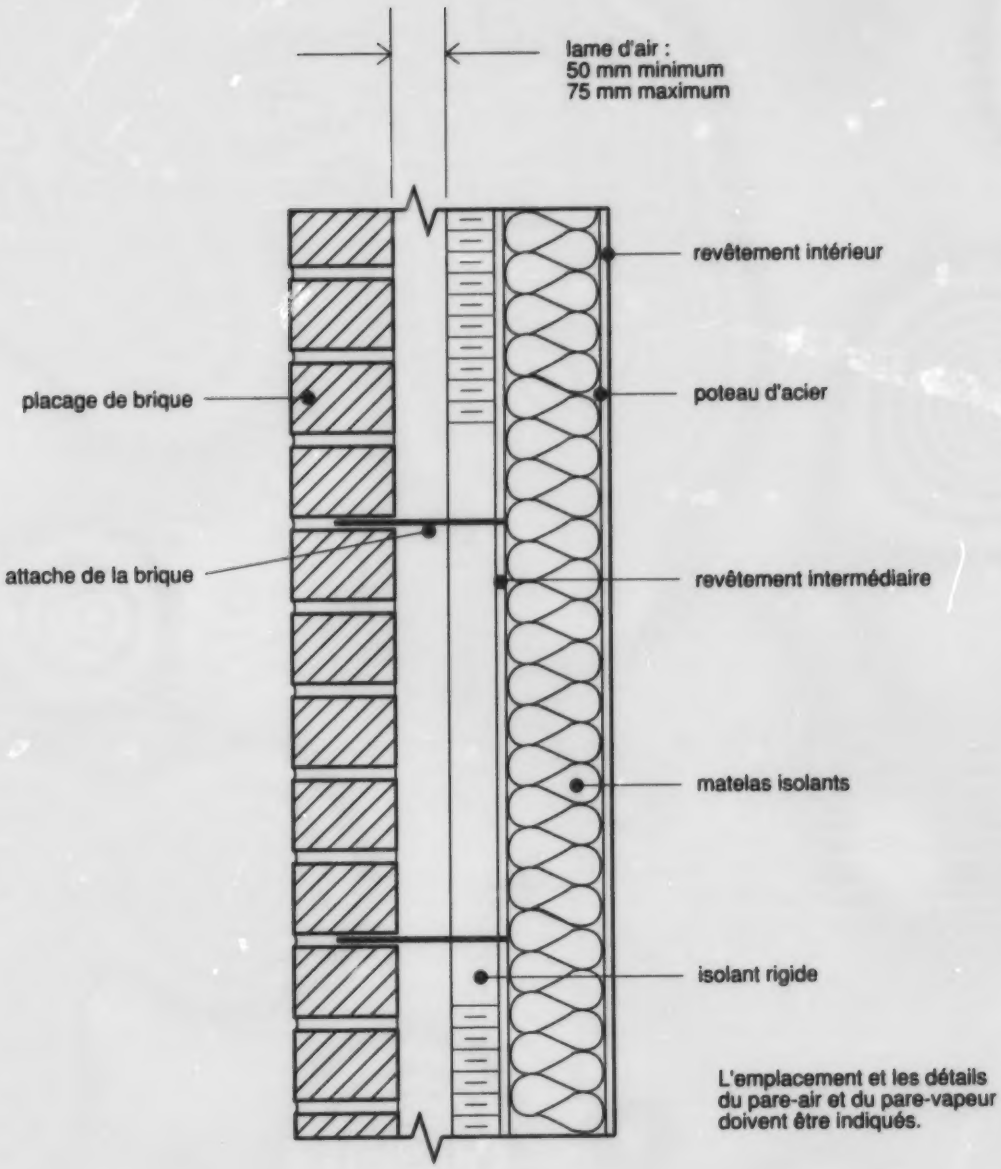
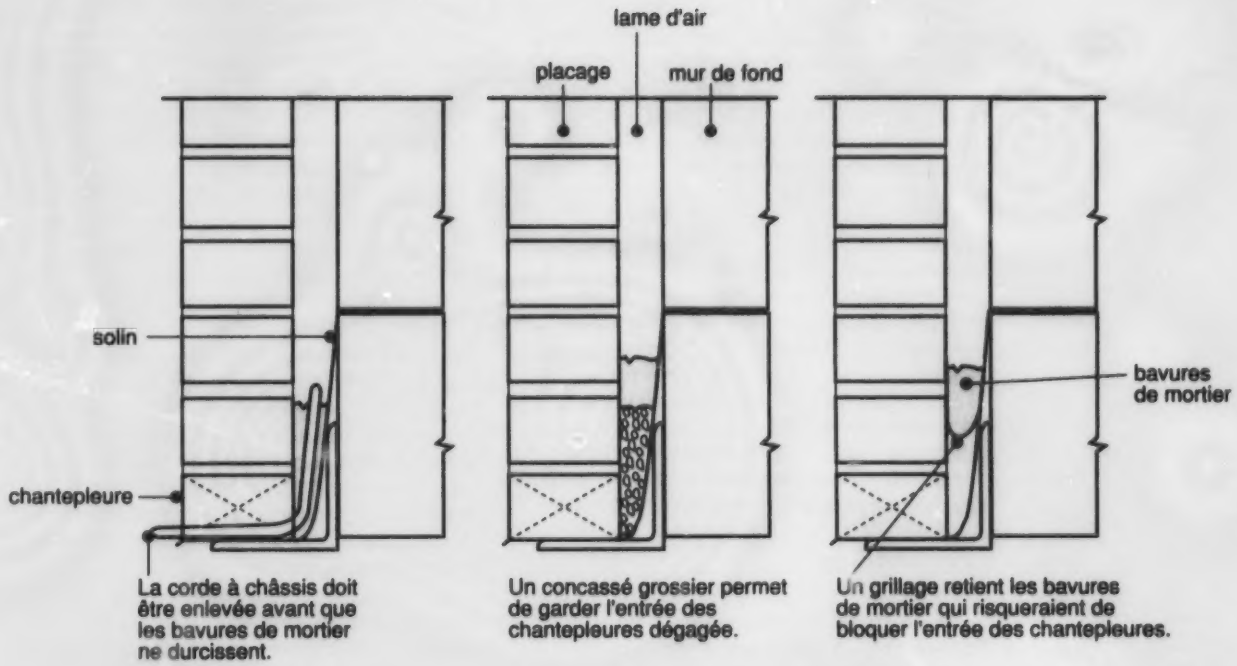


Figure 8.5 Lame d'air recommandée entre le placage et le mur de fond



La meilleure façon d'empêcher les bavures de mortier de bloquer l'entrée des chantepleures consiste à réduire les bavures au minimum, en adoptant l'une ou plusieurs des méthodes suivantes :

- Le fait de façonner le mortier en biseau à l'arrière des briques réduit la formation de bavures dans la lame d'air.
- En insérant dans la lame d'air une latte de bois retenue par deux fils de fer et en la relevant au fur et à mesure que la construction progresse, les bavures de mortier sont récupérées avant qu'elles ne tombent au fond.
- Une corde étendue au fond de la lame d'air et relevée une fois que les bavures de mortier ont partiellement ne durci permet de créer un passage d'évacuation, en empêchant le mortier de former un bloc solide.
- En laissant de côté quelques briques du premier rang, on se ménage une ouverture par où nettoyer la lame d'air à la fin de la journée.

Figure 8.6 Façons de faciliter l'évacuation de l'eau par les chantepleures

Il est bon de se rappeler aussi, en ce qui a trait au montant acceptable d'infiltrations d'eau dans la lame d'air, que l'expérience prouve que l'efficacité du solin installé au fond de la lame d'air varie énormément lorsque les éléments de solin sont perforés, mal joints ou mal fixés sur le mur de fond, permettant ainsi à l'eau de s'accumuler sur la cornière d'appui ou de s'infiltrer derrière elle. Le bon sens demande que le placage de brique soit relativement imperméable à l'eau, de telle sorte que, dans la plupart des cas, la quantité d'eau qui s'infiltre jusque dans la lame d'air soit très faible ou même nulle. Une conception et des méthodes de construction permettant de lutter contre les infiltrations d'eau sont nécessaires, aussi bien pour les nombreux cas où peu d'eau pénètre dans les murs que pour les cas où les murs ressemblent à des passoires par suite d'une main-d'œuvre défectueuse ou d'autres causes. Toutefois, moins il y aura de murs à subir l'épreuve ultime d'une humidité intense, moins il y aura de murs endommagés par les infiltrations de pluie.

8.4 SOLIN

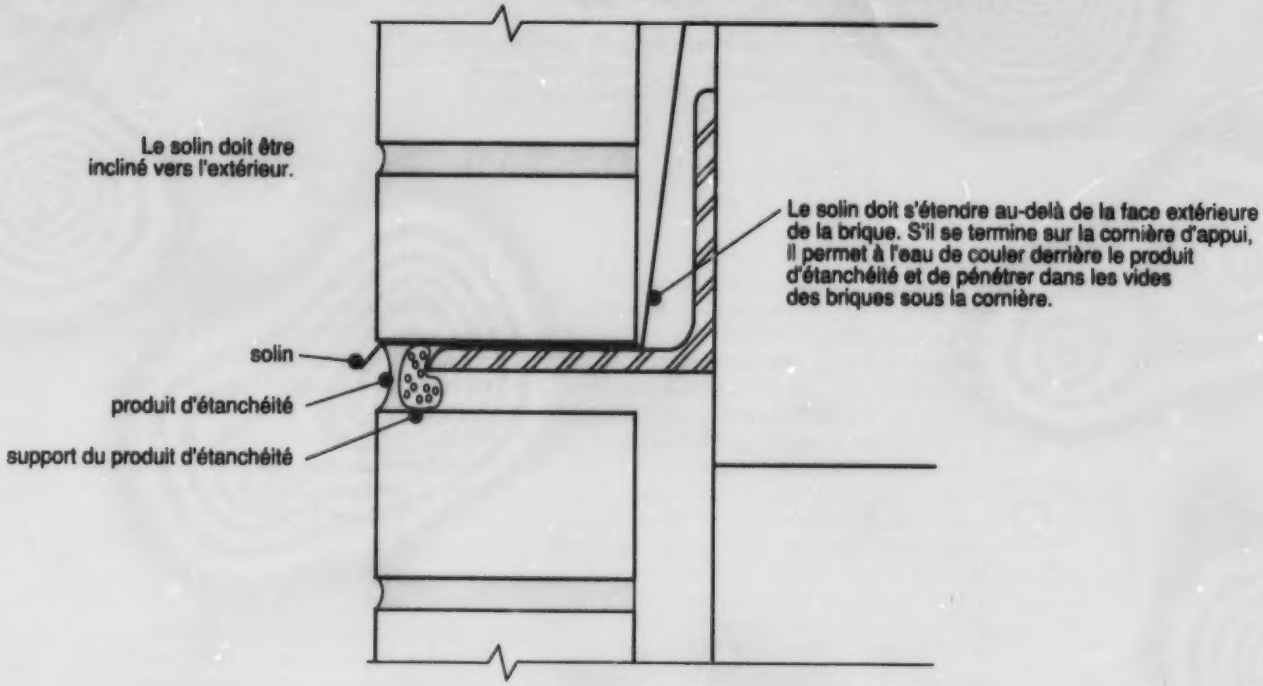
Les matériaux utilisés pour les solins doivent être à la fois imperméables et solides, de façon à prévenir les risques de perforation ou de fissuration. Ils doivent être suffisamment flexibles pour pouvoir être formés, coupés et joints, de façon à présenter une surface continue étanche à l'eau. Ils doivent être compatibles avec le mortier, les métaux et les produits d'étanchéité et de calfeutrage. Les rayons du soleil ne doivent pas réduire leur durée de vie.

Les matériaux couramment utilisés pour les solins sont la tôle, les produits en feuille couverts d'un enduit de bitume, le vinyle en feuille, l'aluminium laminé ou des combinaisons de ces produits. Le feutre imprégné de bitume ne fait pas partie des produits en feuille couverts de bitume acceptables. Ne sont pas recommandés non plus le polyéthylène en feuille de 0,15 mm, ni la feuille de cuivre d'épaisseur n° 30 doublée de feutre ou de papier kraft.

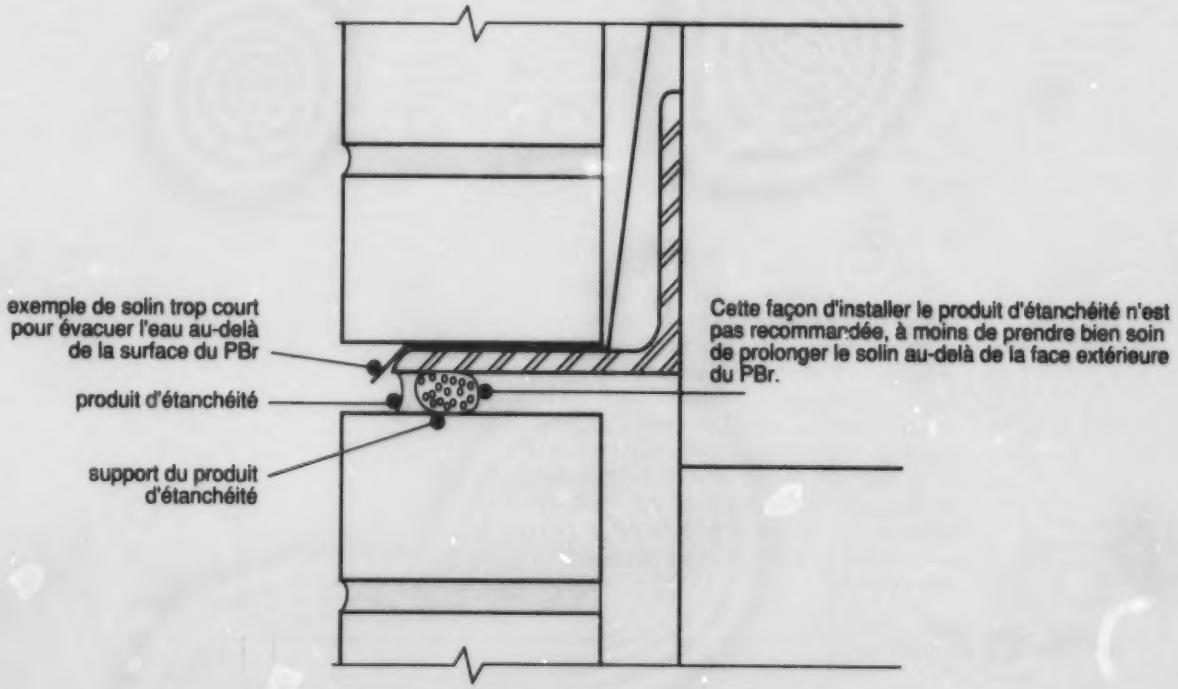
Bien que les coûts varient grandement, le choix d'un matériau de solin doit se fonder sur sa convenance plutôt que sur son coût. Il est conseillé de ne choisir que des matériaux de qualité supérieure, étant donné que le remplacement d'un solin défectueux coûte très cher.

Un matériau très solide comme la tôle est souvent nécessaire, parce que le solin est installé en même temps que le mur de fond et que, jusqu'à la construction du mur de brique, il demeure exposé au vent et n'est retenu au mur de fond que par le bord supérieur. Il doit être, cependant, assez flexible pour s'ajuster à la position finale de la cornière d'appui.

Un solin doit être installé à toute interruption du mur, par exemple, au-dessus des portes et des fenêtres, au-dessus des aérateurs à lames ou d'autres ouvertures, aux appuis de fenêtre et aux cornières d'appui du placage. Il est indispensable que le solin traverse le mur jusqu'à l'extérieur. La figure 8.7 illustre la bonne façon et la mauvaise façon d'installer le solin.



a) Façon recommandée d'installer le solin et le produit d'étanchéité



b) Façon fautive d'installer le solin et le produit d'étanchéité

Figure 8.7 Détails d'installation du solin et du produit d'étanchéité au joint horizontal situé vis-à-vis de la cornière d'appui

Parce que les dessins de conception manquent souvent de clarté et de détails, il arrive souvent que les solins soient discontinués aux mauvais endroits ou posés aux endroits où ils ne devraient pas l'être, comme on le voit dans les figures 8.8 et 8.9. Il arrive souvent aussi qu'on omette de rainurer la surface de la colonne pour y insérer le solin, ce qui fait que celui-ci est discontinué à la colonne, comme dans la figure 8.10. Tous les détails d'installation des solins doivent être précisés. Pour que les solins remplissent bien leur rôle, leur continuité doit être maintenue aux colonnes et aux angles. Quand il faut joindre deux éléments de solin, il faut leur donner un recouvrement suffisant et obturer le joint; pour obtenir de meilleurs résultats, les solins en tôle doivent être soudés aux joints, aux angles et aux changements d'épaisseur du mur de fond. Si les rives des dalles sont mal alignées et que la largeur de la lame d'air s'en trouve réduite, il se peut que le solin bute contre les boulons d'ancrage des cornières d'appui, comme on le voit dans la figure 8.11; une façon de prévenir ce problème est illustrée dans cette même figure.

8.5 MUR DE FOND

En plus de soutenir le placage de brique, le mur de fond supporte le revêtement mural intérieur, ainsi que le pare-vapeur, le pare- air et l'isolant thermique. Typiquement, certains composants du mur de fond remplissent plus d'une fonction. Comme nous verrons dans les chapitres 9 et 10, quel que soit le type de mur de fond, celui-ci peut répondre à ces exigences de diverses façons, dont chacune est caractérisée par des points forts et des points faibles.

Normalement, le mur de fond supporte les bâtis de porte et de fenêtre et offre un passage pour l'installation des services, tels que les prises de courant. Ces ouvertures et d'autres qui nécessitent la perforation du mur peuvent avoir d'importantes conséquences sur le comportement de l'enveloppe du bâtiment, principalement à cause de la difficulté de maintenir la continuité de pare-air.

8.6 ATTACHES

Les attaches sont d'importants composants structuraux, qui doivent être conçus et installés de façon à ne pas gêner les fonctions du mur selon la science du bâtiment. Étant donné que les attaches sont normalement installées avant la construction du placage de brique, la possibilité d'en régler la hauteur pour les amener au niveau des joints de mortier du placage est une de leurs caractéristiques importantes. Si aucun réglage n'est possible, il faut recourir à certaines techniques permettant de déterminer la position à donner aux attaches.

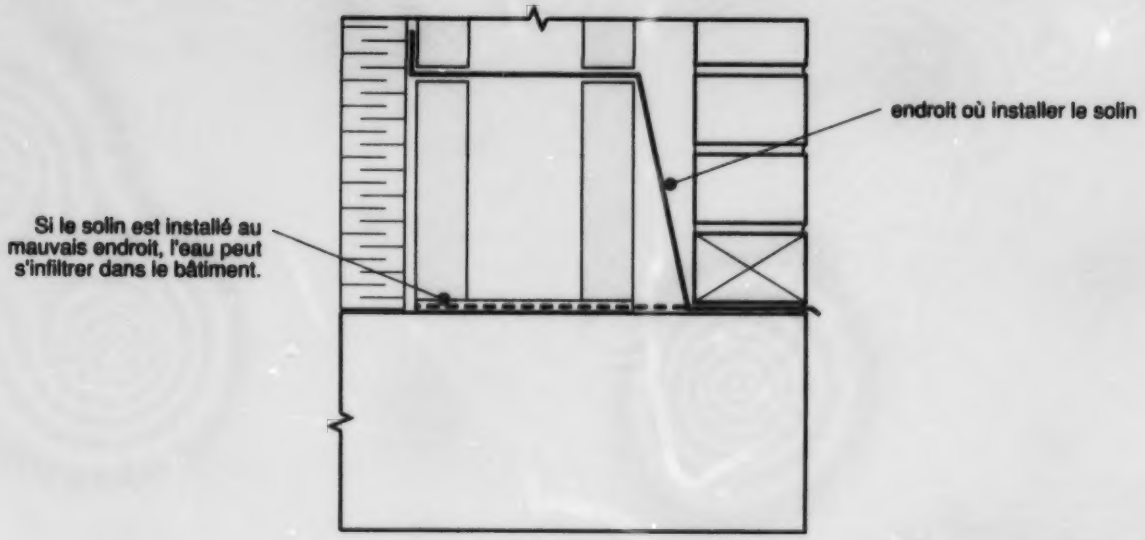


Figure 8.8 Détail d'installation du solin lorsque le placage repose sur la dalle

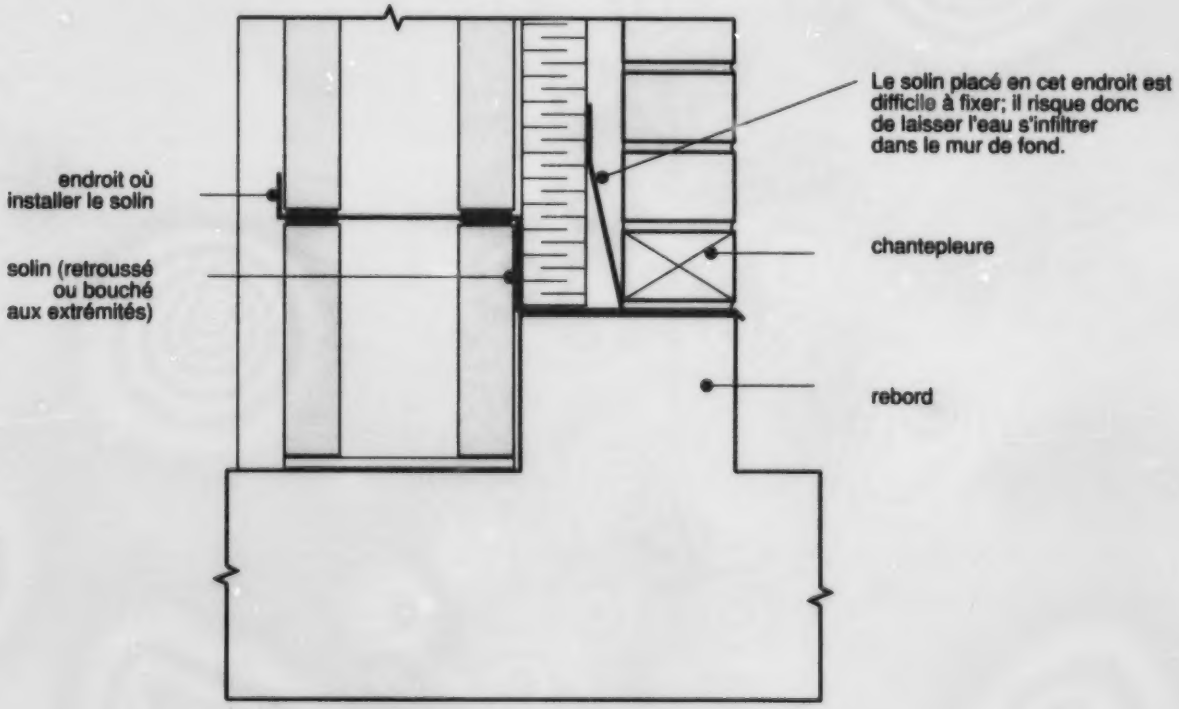


Figure 8.9 Installation du solin au rebord du balcon

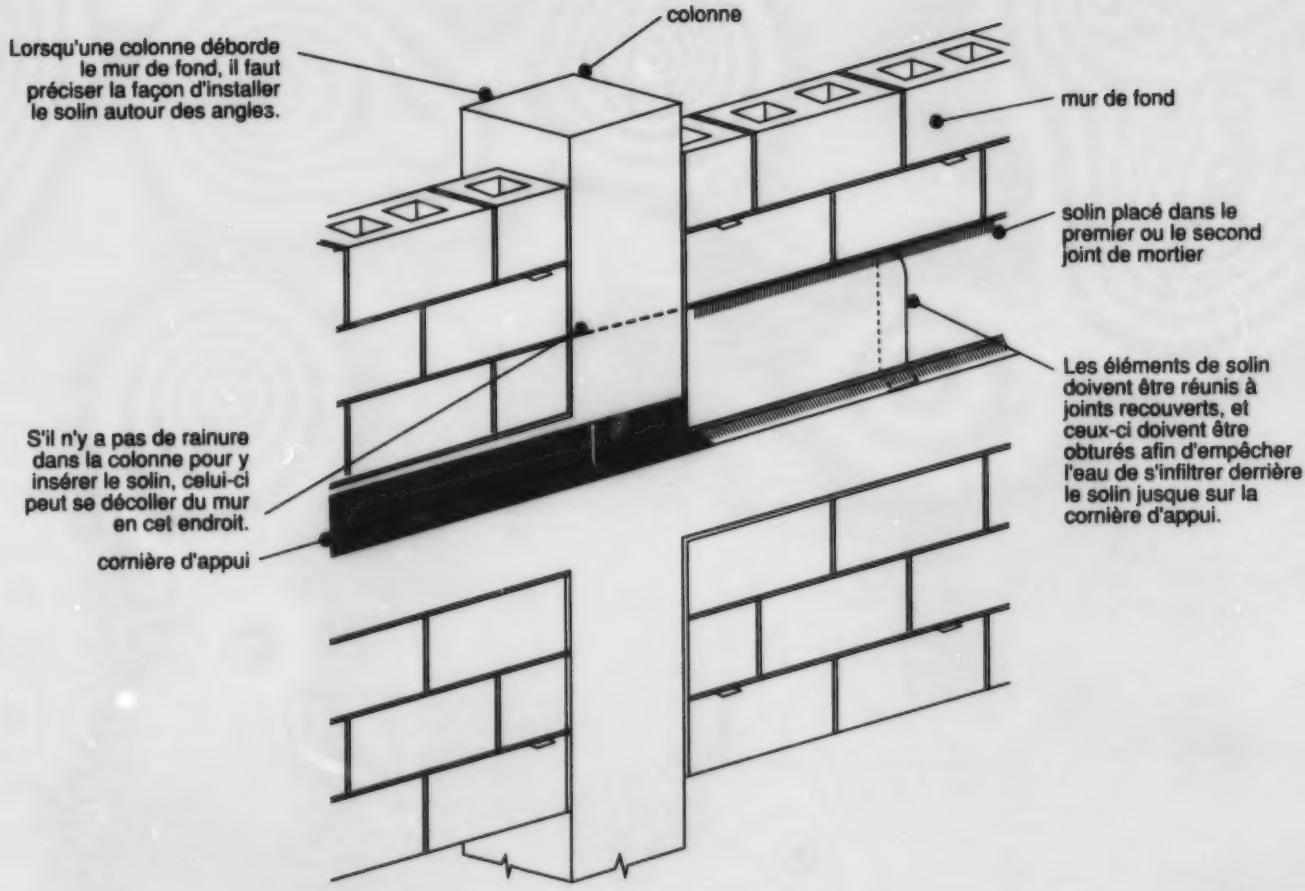


Figure 8.10 Façon d'installer le solin pour en maintenir la continuité

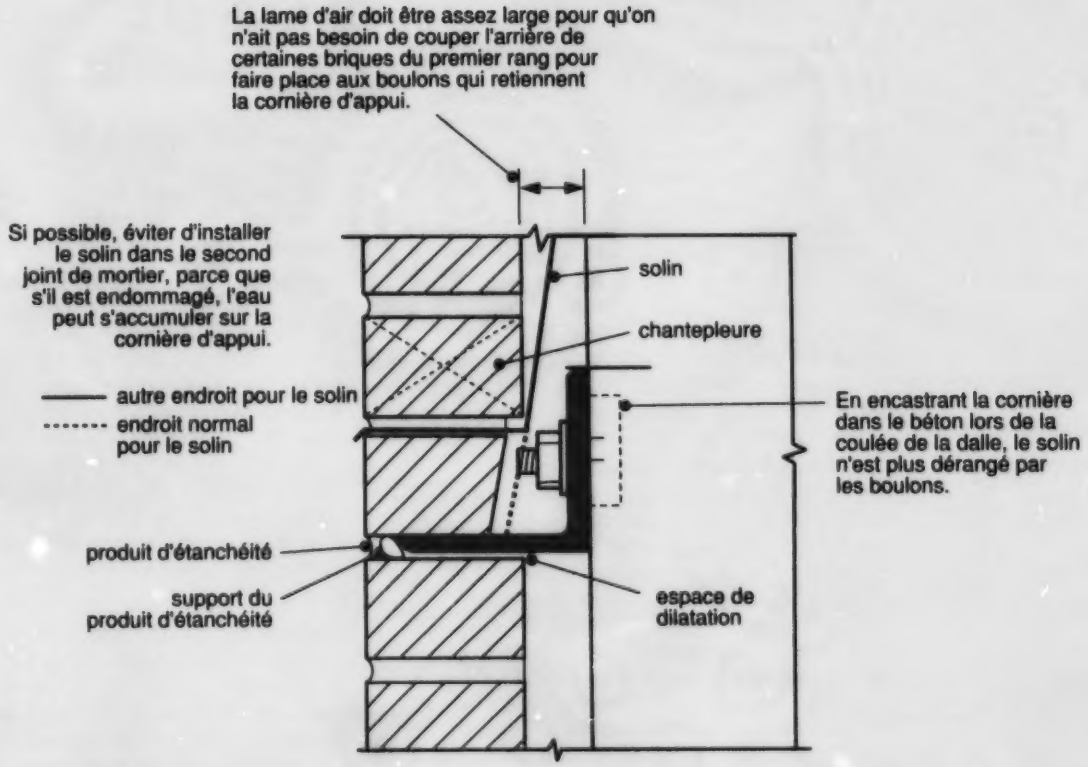


Figure 8.11 Installation du solin plus haut que la cornière d'appui, afin d'éviter les boulons

Les attaches constituent un pont que l'eau peut emprunter pour traverser la lame d'air et atteindre le mur de fond. Les attaches normalisées selon la norme A370[11] de l'ACNOR n'ont pas de larmier, parce que cela en réduit la résistance, et les attaches constituées d'un fil droit ne sont pas considérées comme une importante source d'humidité si elles sont placées horizontalement, comme indiqué dans la figure 8.12. Cependant, lorsque les attaches constituent une plate-forme où s'accumulent les bavures de mortier, le pont qui se forme alors à travers la lame d'air peut devenir une importante source d'humidité dans le mur. Si, à cause du procédé de fabrication, un pli est donné au fil métallique ou à la tôle après la galvanisation afin de créer un larmier, cela peut réduire la durabilité de l'attache à cause de la fissuration de la galvanisation. Le mode de fixation des attaches dans le placage de brique peut aussi favoriser le passage de l'humidité à travers le placage, par exemple, lorsque des attaches plates sont simplement posées sur la brique, puis recouvertes de mortier, au lieu d'être véritablement noyées dans le mortier, comme illustré dans la figure 8.12.

Étant donné que les attaches sont susceptibles d'être exposées à l'humidité de l'air et mouillées par suite de la condensation ou des infiltrations de pluie, il est essentiel que la durabilité de ces éléments clés de la structure soit assurée, soit par un enduit de protection contre la corrosion approprié au milieu environnemental, soit par l'utilisation de matériaux inoxydables. Il faut en outre, dans la conception des attaches, tenir compte du risque de transmission d'eau au-delà de la lame d'air.

Il se peut que l'installation des attaches nécessite la perforation du pare-air, s'il est déjà en place, ou qu'il soit difficile de l'installer, s'il est mis en place après les attaches. C'est pourquoi la façon de poser les attaches au mur de fond et le déroulement des travaux doivent être examinés lors du choix des attaches. S'il y a lieu, le cahier des charges et les dessins doivent indiquer clairement la façon de sceller les attaches dans le mur ou de réparer les endroits où elles ont été fixées.

8.7 CORNIÈRE D'APPUI

En plus des fonctions structurales qui lui sont propres, la cornière d'appui comporte plusieurs aspects où elle peut influer sur des fonctions reliées à la science du bâtiment. Ces aspects sont les suivants :

1. **Pont thermique** - Comme la cornière d'appui est directement fixée au plancher, il peut s'ensuivre une perte de chaleur, ainsi que des points froids sur le plancher. Cependant, comme on le voit dans la figure 8.13, on peut prolonger l'isolant par-dessus l'aile verticale de la cornière et minimiser ainsi les effets susdits. En empêchant le refroidissement de la cornière d'appui et de ses boulons d'ancrage, on prévient les problèmes de condensation et de corrosion.
2. **Dimensions et esthétique** - Étant donné qu'il faut tenir compte de l'épaisseur de la cornière d'appui dans la hauteur du placage, le dessin détaillé du joint de mortier à la hauteur de la cornière d'appui doit prévoir un mince lit de mortier, le solin, l'épaisseur de la cornière et le joint de dilatation verticale. Ceci est important à cause de l'effet qu'a un joint plus épais sur l'apparence du bâtiment, sur les dimensions en général et sur la mise en place des rangs de brique. La figure 8.14 illustre cet effet, ainsi que la façon d'obtenir une apparence uniforme du placage, en utilisant des briques entaillées de façon spéciale.

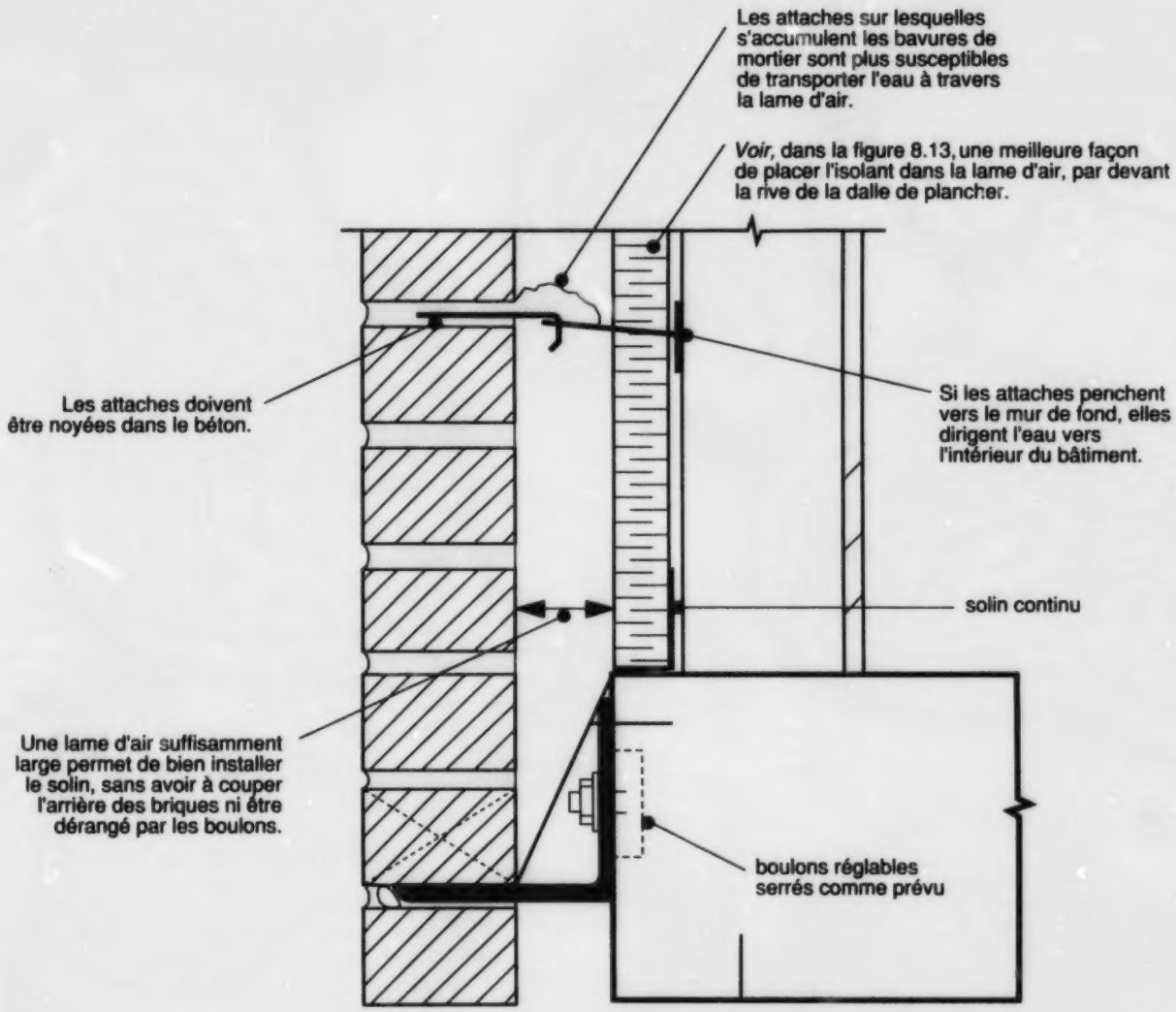
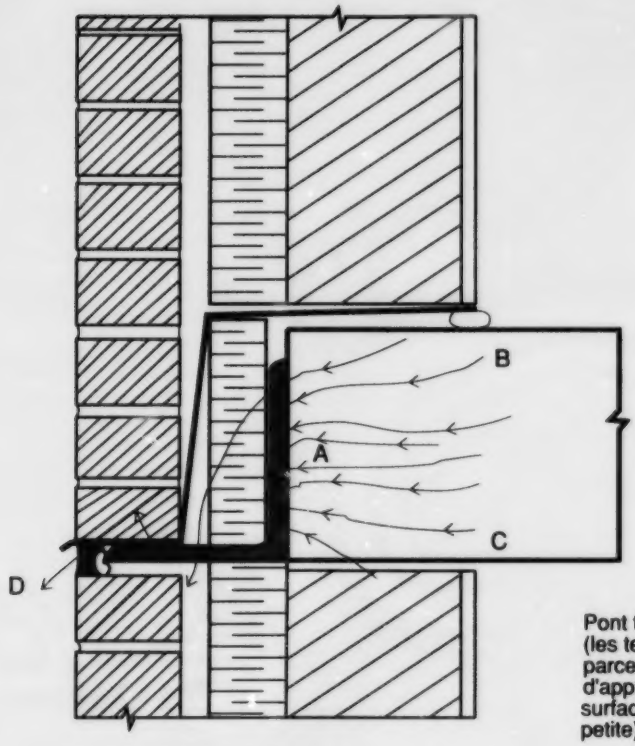
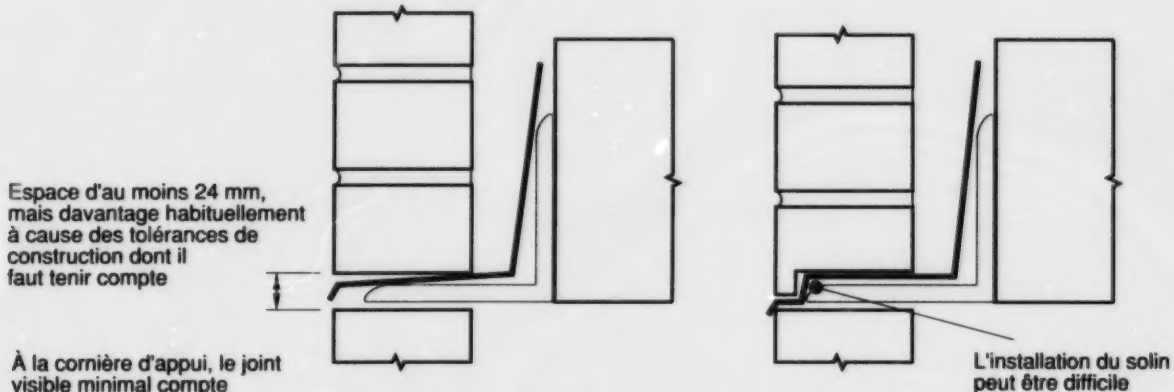


Figure 8.12 Mécanismes des infiltrations d'eau dues aux attaches



Pont thermique inévitable, bien conçu et traité (les températures en A, B et C demeurent chaudes parce que la surface de contact (A) de la cornière d'appui est grande et conductrice, tandis que sa surface de perte de chaleur (D) est relativement petite).

Figure 8.13 L'isolant recouvre la rive de la dalle de plancher et la cornière d'appui, afin de réduire l'effet du pont thermique au minimum.



a) Installation normale du joint à la cornière d'appui

b) Utilisation de briques entaillées pour maintenir la même épaisseur de joint visible à la cornière d'appui

Figure 8.14 Épaisseur du joint à la cornière d'appui

3. **Boulons** - La conception détaillée doit réduire au minimum les perforations du solin. Lorsque la cornière est encastrée dans le béton lors de la coulée de la dalle, ce problème n'existe pas.
4. **Solin** - Le solin doit être fixé au mur de fond de façon à pouvoir durer pendant toute la vie du bâtiment. Il doit être placé de telle sorte que toute l'humidité qui coule le long de la face extérieure du mur de fond soit évacuée à l'extérieur par les chantepleures. À ce point de vue, comme on le voit dans la figure 8.7 a), le solin doit se prolonger au-delà de l'aile horizontale de la cornière d'appui, afin que le produit de calfeutrage et son support empêchent l'eau de s'infiltrer dans le placage situé sous la cornière.

8.8 ISOLANT THERMIQUE

Tous les composants d'un mur ont une influence sur sa résistance thermique, ou valeur R. Dans le cas des systèmes muraux à placage de brique, cependant, que le mur de fond soit en MBé ou à OA, les matériaux isolants assurent la presque totalité de la résistance thermique. Généralement, lorsque l'air circule à travers le vide mural, ni le placage ni le vide mural ne contribuent pour la peine à cette résistance thermique. Il importe généralement d'éviter de former des ponts thermiques, par exemple, lorsque les dalles de béton ne sont pas isolées, afin de prévenir les zones froides et la condensation sur le plancher.[12]

Le concepteur doit décider du degré de résistance thermique requis, en tenant compte des raisons qui l'amènent à déterminer l'endroit où l'isolant sera installé. À ce point de vue, il faut se rappeler le principe des résultats décroissants, qui dit que le fait de doubler la résistance thermique diminue les pertes de chaleur de moitié, mais que le fait de la doubler une deuxième fois ne les diminue de nouveau que d'un quart. Si l'on considère maintenant les changements d'air requis et la proportion de la surface murale où la résistance thermique est moindre, par exemple, aux fenêtres, on peut dire que l'isolation a ses limites. On trouvera ailleurs[13] diverses méthodes d'analyse de coûts-avantages.

L'isolant thermique peut s'installer :

- dans la lame d'air;
- à l'intérieur du mur de fond; ou
- sur la face intérieure du mur de fond.

Les types courants d'isolant sont :

- l'isolant rigide;
- l'isolant en matelas; et
- l'isolant en vrac.

Le choix du type d'isolant et de l'endroit où il sera installé entraîne d'importantes conséquences sur le déroulement général de la construction, principalement sur la conception et la construction du pare-air et du pare-vapeur.

Si l'isolant est installé dans la lame d'air, l'isolant en vrac n'est pas recommandé, parce qu'il facilite le passage de l'eau à travers la lame d'air et qu'il ne permet pas d'équilibrer la pression de l'air dans le vide mural avec la pression de l'air extérieur. Il est donc normal d'utiliser un isolant en panneaux rigides. Pour que celui-ci soit efficace, il doit être bien appuyé contre la face extérieure du mur de fond. Si l'air circule un tant soit peu autour des panneaux isolants, leur valeur isolante est grandement diminuée. De toute évidence, les panneaux isolants qui ballottent librement dans la lame d'air n'ajoutent rien à la résistance thermique du mur. Il s'ensuit que le mode d'installation et de fixation des panneaux isolants est très important; on les fixe généralement au moyen d'adhésifs ou de dispositifs de fixation mécanique.

Voici les points à retenir au sujet de l'utilisation d'adhésifs :

- il est difficile, sur le chantier, d'avoir des surfaces propres qui conviennent aux adhésifs;
- certains adhésifs ne peuvent être utilisés à l'extérieur, quand la température est froide ou humide;
- les adhésifs doivent être compatibles avec les matériaux isolants; et
- il faut veiller à la stabilité générale et à l'efficacité à long terme de l'adhésif, y compris le vieillissement, la résistance aux champignons et aux micro-organismes, le comportement au cours des cycles saisonniers de température et d'humidité et au cours de mouvements répétés.

Comme illustré dans la figure 8.15, la pose de l'isolant sur des pastilles d'adhésif n'est pas recommandée, parce que cela crée un espace où l'air peut circuler. On recommande une couche complète d'adhésif, sauf si celle-ci est imperméable au point de devenir un pare-vapeur; dans ce cas, on recommande un quadrillage d'adhésif, celui-ci ayant l'effet de compartimenter l'espace d'air à l'arrière de l'isolant, tout en conservant tous les avantages de l'isolant.[14]

On a déjà utilisé, comme ancrage mécanique, des attaches de fixation collantes (*voir* figure 8.16). Si l'adhésif au dos de l'attache peut durer toute la vie utile du bâtiment, il s'agit là d'une technique d'ancrage simple. Cependant, l'ancrage mécanique qui consiste à utiliser les attaches comme dispositifs de fixation de l'isolant au mur de fond (*voir* figure 8.17) ou qui fixe l'isolant directement au mur de fond à l'aide de vis et de rondelles, comme illustré dans la figure 8.18, est probablement plus fiable à long terme. Il est essentiel de recourir à un ancrage mécanique, lorsque les inégalités de la surface ou des saillies exigent que l'isolant soit pressé ou courbé en certains endroits afin d'éliminer tout espace d'air à l'arrière et de prévenir la diminution de résistance thermique qui en résulterait.

Il faut se rappeler que, en plus de supporter son propre poids et de permettre les mouvements du mur, l'isolant peut être soumis à d'importantes suctions exercées par le vent, auxquelles il doit résister afin de demeurer en contact avec le mur de fond. C'est pourquoi le choix des fixations mécaniques, des adhésifs ou d'une combinaison des deux doit tenir compte de la durée prévue du bâtiment, de la possibilité de se conformer aux spécifications du fabricant (c'est-à-dire, température d'utilisation ou durée de vie des adhésifs), et des conséquences d'une défaillance de la fixation. Il serait donc à conseiller, dans certains cas, d'utiliser une combinaison d'adhésif et de fixations mécaniques.

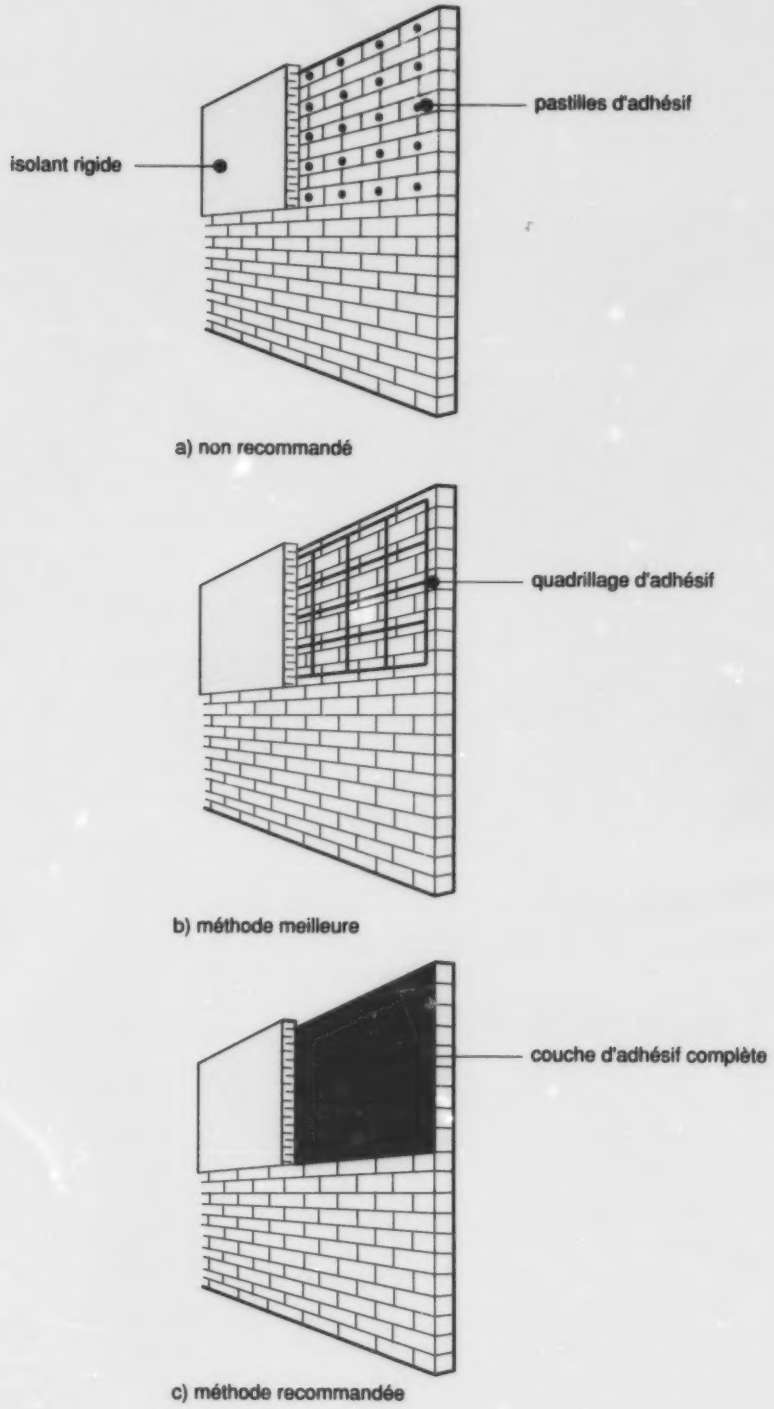


Figure 8.15 Installation d'isolant rigide à l'aide d'adhésif

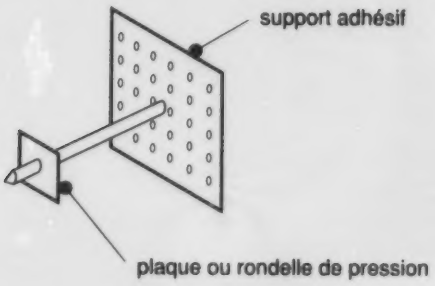


Figure 8.16 Utilisation d'attaches collantes pour fixer l'isolant mécaniquement

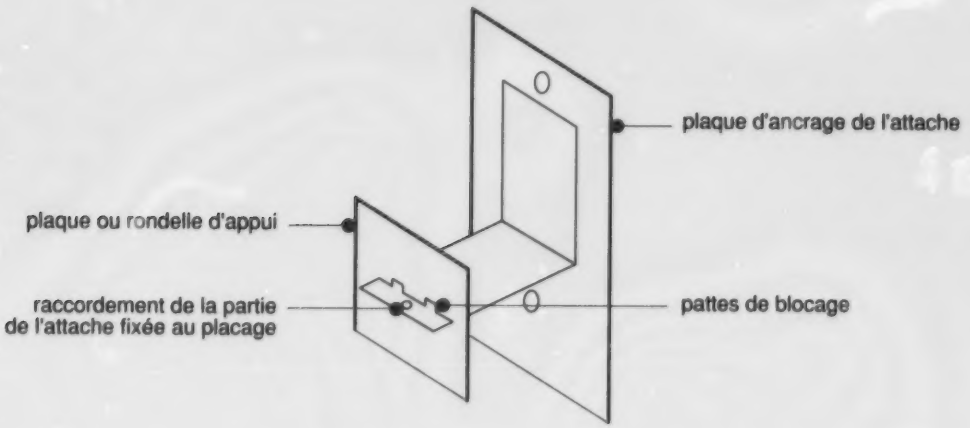


Figure 8.17 Fixation mécanique de l'isolant à l'aide des attaches

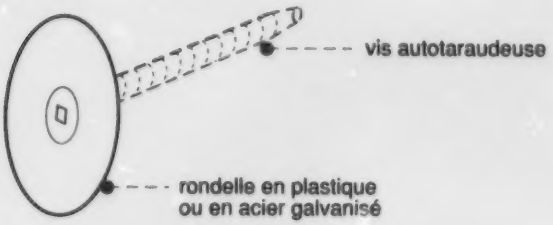


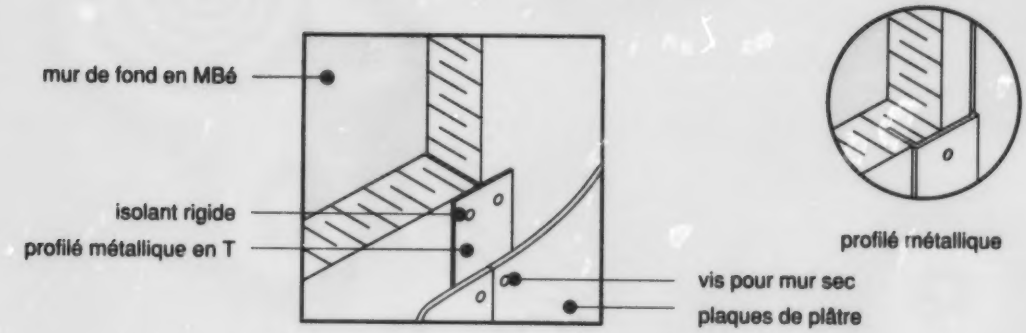
Figure 8.18 Ensemble vis-rondelle servant à fixer mécaniquement l'isolant rigide

Pour les méthodes de construction courantes, l'installation de l'isolant dans la lame d'air exige que le mur soit construit en deux étapes, le mur de fond étant construit le premier. Dans le cas des bâtiments de faible hauteur, cela ne constitue pas une grosse difficulté, puisqu'il est facile de construire le placage à partir de l'extérieur. Dans le cas des bâtiments de grande hauteur, cependant, l'utilisation d'échafaudages, fixes ou volants, peut rendre les inspections plus difficiles. De plus, dans le cas de murs de fond en MBé, les bavures de mortier doivent être enlevées pour pouvoir appliquer l'isolant bien à plat sur une surface unie. L'ajustement de l'isolant autour des attaches demande beaucoup de soin. De plus, un solin très résistant sera peut-être nécessaire pour éviter qu'il ne soit endommagé par le vent pendant qu'il est temporairement exposé aux intempéries. Malgré ces observations, l'avantage qu'il y a à garder le mur de fond chaud et à réduire les effets des ponts thermiques nous porte à recommander que l'isolant soit installé dans la lame d'air.

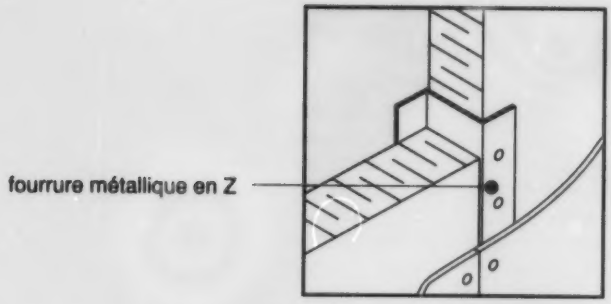
Lorsque l'isolant est installé à l'intérieur du mur de fond, il s'agit normalement d'isolant en vrac, dans le cas des murs de fond en MBé; si l'on utilise un autre isolant en plus, l'avantage supplémentaire que procure l'isolant en vrac est faible. Ce peut être différent, cependant, si l'on utilise des blocs de béton de type cellulaire ou légers, dans lesquels un isolant (en vrac ou solide) inséré dans les vides des blocs de béton peut contribuer grandement à la résistance thermique. Pour les murs de fond à OA, l'isolant est habituellement constitué de matelas thermiques «à friction,» dont la largeur est légèrement supérieure à l'espacement des poteaux. Cet espacement doit être soigneusement contrôlé, afin que la friction soit suffisante pour maintenir les matelas en place. Un matelas doit donc remplir complètement l'espace qui sépare deux poteaux, de telle sorte que la circulation d'air y soit très limitée. Il est nécessaire de préciser la valeur R de l'isolant et l'épaisseur des matelas. Bien que la texture fibreuse de l'isolant contribue à limiter la convection naturelle à travers l'espace réservé aux matelas s'ils ne le remplissent pas entièrement, la convection peut grandement réduire la résistance thermique de l'isolant.

Normalement l'isolant n'est utilisé sur la face intérieure du mur de fond que dans le cas des murs en MBé; l'installation et l'inspection de l'isolant sont alors faciles. Malheureusement, le pont thermique créé par le plancher et le fait, pour le mur de fond, d'être soumis à la gamme complète des températures annuelles sont de sérieux désavantages.

L'isolant peut être fixé à l'aide d'adhésifs ou de fixations mécaniques, mais la nécessité de supporter le revêtement intérieur oblige souvent le constructeur à utiliser des fourrures de bois ou de métal, comme illustré dans la figure 8.19.

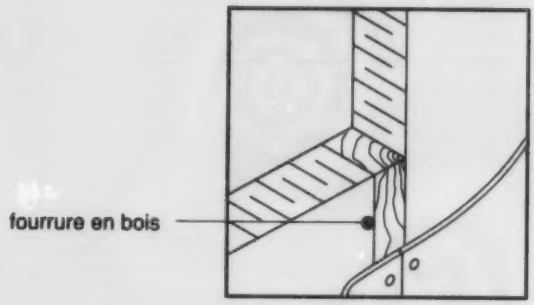


a) profilé métallique en T

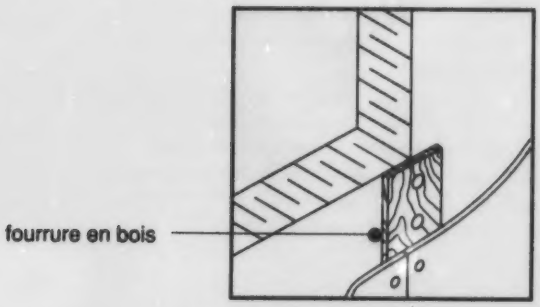


b) fourrure métallique en Z

Note :
Les systèmes de fourrure b) et c) offrent un appui pour fixer les plaques de plâtre au mur de fond.



c) fourrure en bois solide



d) fourrure en bois

Figure 8.19 Systèmes de fourrures

Il est important de ne laisser aucun espace entre l'isolant et le plafond ou le plancher. Lorsque le plafond est suspendu ou attaché à la membrure inférieure de solives à âme ouverte, l'isolant doit être prolongé au-dessus du plafond jusqu'à la face inférieure de la dalle de plancher, comme illustré dans la figure 8.20.

Pour prévenir efficacement les infiltrations ou exfiltrations d'air et de vapeur d'eau, le pare-air et le pare-vapeur doivent aussi être prolongés de la même façon. En effet, si le pare-air n'est pas prolongé, l'isolant risque de se décoller du mur de fond sous l'effet de la pression créée par les infiltrations d'air, comme illustré dans la figure 8.21. Comme on le voit dans la figure 8.22, il est important de bien serrer les panneaux isolants côte à côte et de prêter une attention particulière à tous les détails d'installation du pare-air, afin de réduire au minimum les pertes directes de chaleur et les autres effets nuisibles causés par les exfiltrations d'air.

8.9 PARE-AIR ET PARE-VAPEUR

Il existe un malentendu à propos des fonctions respectives du pare-air et du pare-vapeur, dans ce sens que le pare-vapeur est conçu pour prévenir la transmission de vapeur d'eau à travers les matériaux, tandis que le pare-air est conçu pour limiter le passage de l'air à travers le mur.[15,16] Ce malentendu peut venir du fait qu'il est très difficile de s'assurer que le pare-air et le pare-vapeur ne remplissent chacun qu'une seule fonction. Par exemple, on se sert couramment d'une feuille de polyéthylène comme pare-vapeur; or, ce matériau s'oppose aussi à la circulation de l'air, s'il est supporté. À leur tour, la plupart des revêtements qu'on utilise comme pare-air ont tendance à restreindre aussi la transmission de la vapeur d'eau. Il se peut donc que le fait que nombre de murs comportent à la fois un pare-vapeur et un pare-air soit devenu un problème général.

Si l'on suppose qu'un certain nombre d'imperfections existent toujours dans la mise en place des composants d'un mur — comme cela se produit inévitablement sur le chantier — la conception doit être basée sur l'évaluation des effets dommageables possibles de ces imperfections. Ceci veut dire, en pratique, que l'humidité peut être emprisonnée entre les deux membranes d'étanchéité et, surtout, que la quantité d'humidité et la durée de sa présence dans certains endroits critiques peuvent rendre certaines installations sujettes à une détérioration et à des problèmes prématurés. Par conséquent, même si en théorie, ces installations auraient dû avoir un comportement satisfaisant en supposant que la construction eût été parfaite, le fait demeure que certains défauts de construction peuvent nuire à long terme au comportement du mur. La grande préoccupation des concepteurs est que l'humidité ainsi emprisonnée risque de corroder les composants d'acier, d'affaiblir ou détériorer les matériaux de revêtement intermédiaire, et de mouiller l'isolant, diminuant ainsi l'efficacité de l'isolant et maintenant l'humidité plus longtemps sur les composants d'acier. La formation de moisissures et de champignons dans le mur peut aussi être une conséquence indésirable de l'emprisonnement de l'humidité dans le mur.

Étant donné la présence d'imperfections inévitables dans la construction, l'air humide passe à travers le mur et provoque de la condensation aux endroits où le point de rosée est atteint. Si celui-ci est du côté chaud d'une membrane d'étanchéité, la condensation s'accumule en cet endroit, ce qui ne peut que nuire aux matériaux d'isolation et de revêtement intermédiaire et provoquer la corrosion des composants métalliques.

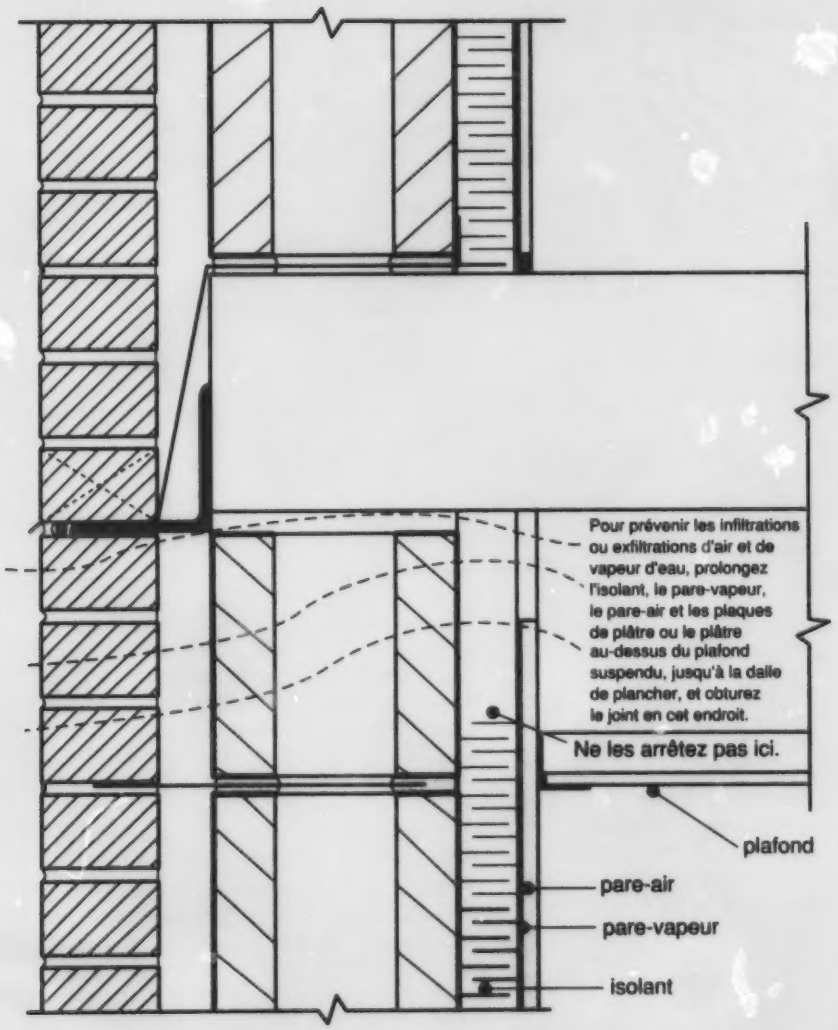


Figure 8.20 Nécessité de prolonger l'isolant, le pare-air et le pare-vapeur au-dessus du plafond suspendu

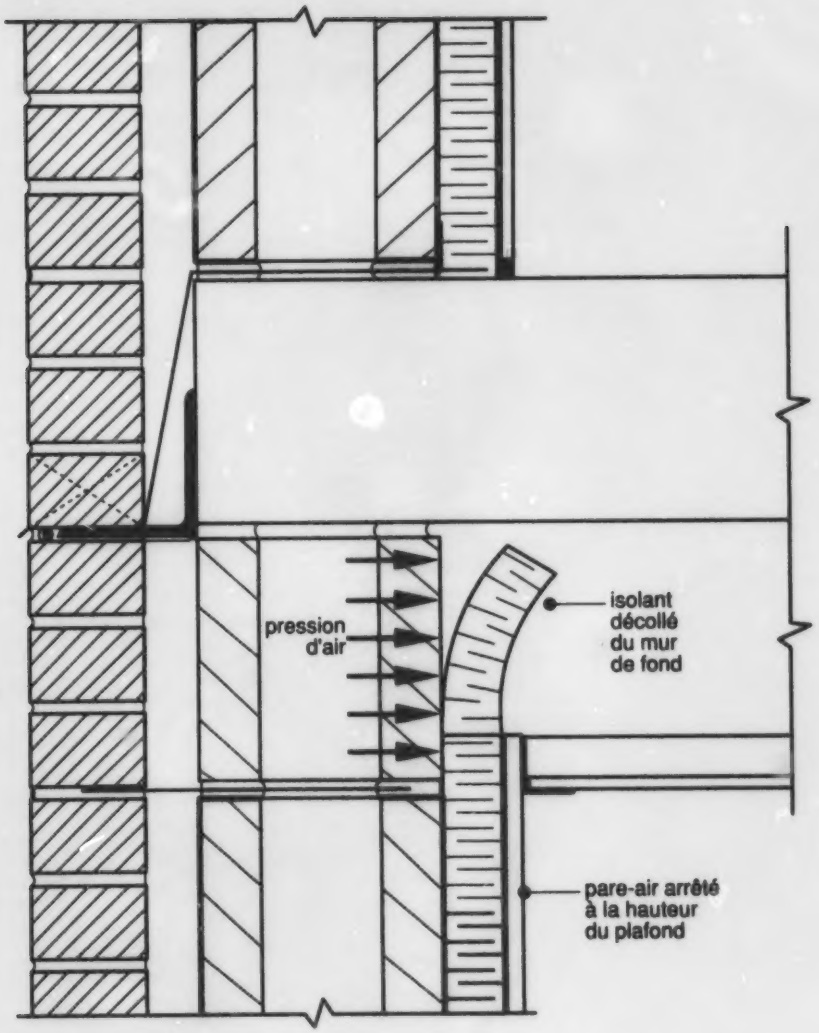


Figure 8.21 Illustration de la pression exercée par l'air sur l'isolant non supporté

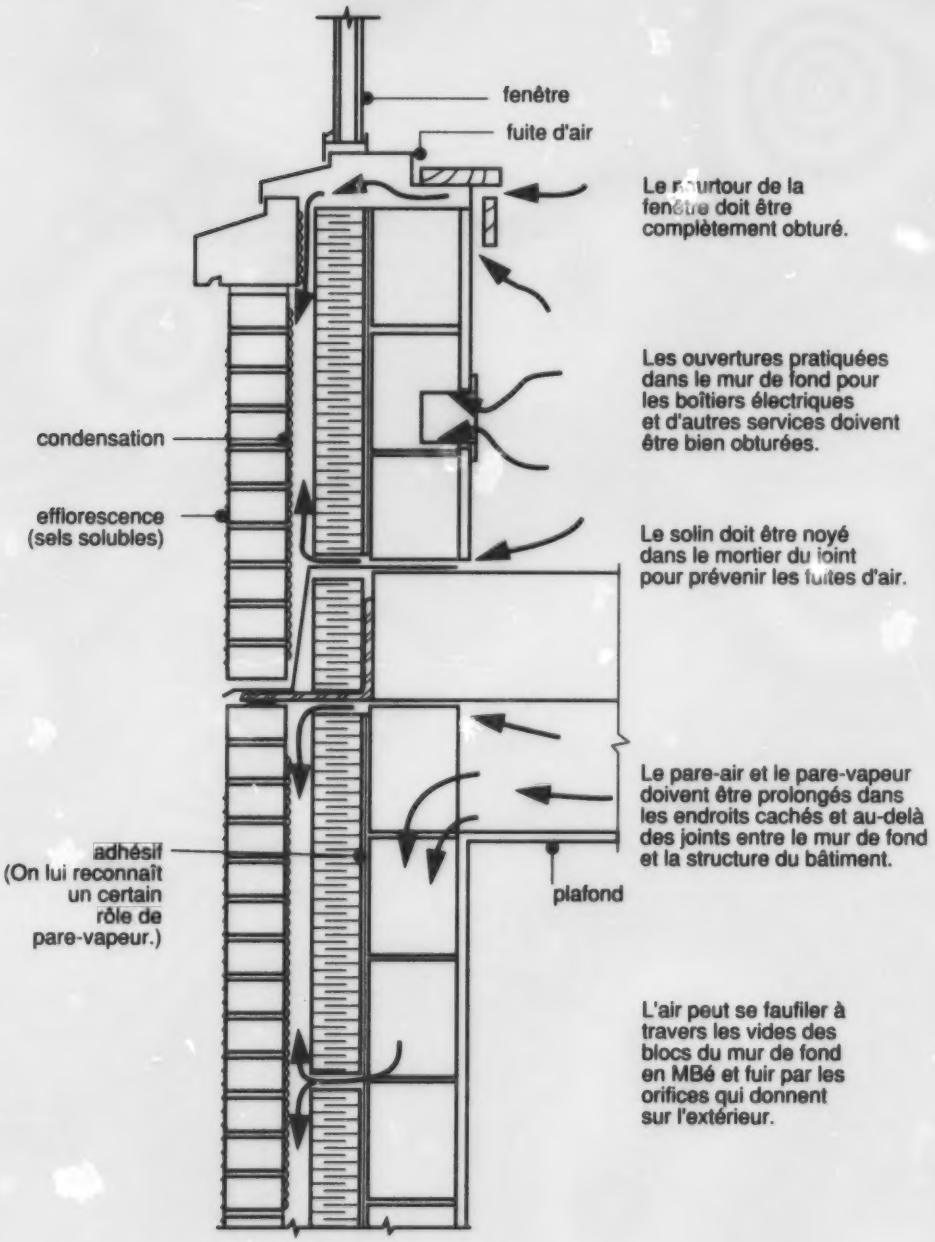


Figure 8.22 Exemples de fuites d'air qui peuvent provoquer la condensation de l'humidité transportée par l'air

Bien qu'on reconnaisse généralement que le pare-vapeur doit être du côté chaud de l'isolant, personne n'a encore prouvé que le pare-air devait nécessairement être installé à un endroit plutôt qu'à un autre. Lorsque les plaques de plâtre du mur intérieur ou d'autres matériaux de finition servent de pare-air, on craint que les perforations pratiquées dans le mur pour installer les services, accrocher les tableaux, etc., et le calfeutrage incomplet sur le périmètre du mur empêchent le mur intérieur de remplir son rôle de pare-air. Par ailleurs, lorsqu'un revêtement intermédiaire sur la face extérieure du mur de fond sert de pare-air, cela présente d'autres inconvénients, dont le principal est le fait que cet arrangement rend les inspections, la correction des défauts et l'entretien difficiles. Lorsque des exfiltrations d'air se produisent, le fait que le pare-air extérieur possède certaines des qualités du pare-vapeur a pour effet qu'une certaine quantité d'eau se trouve emprisonnée dans le mur. Cependant, les murs construits avec un isolant rigide suffisamment épais sur la face extérieure du pare-air extérieur peuvent être conçus de telle façon que ce second pare-vapeur (partiel) soit à une température supérieure au point de rosée et n'entraîne pas, par conséquent, de problème de condensation.[17]

Les essais, les analyses et les observations sur le terrain ont démontré que la masse d'air qui peut traverser un mur par fuite d'air, même par un trou minuscule, est beaucoup plus importante que la quantité d'eau qui traverse un mur par diffusion.[18,19,20,21] Par conséquent, lorsque l'humidité de l'air se condense, il est peu probable qu'elle puisse être éliminée en quantité appréciable par l'exfiltration de vapeur d'eau; il est beaucoup plus probable, en fait, que cette humidité disparaîtra en étant entraînée par l'air sec qui passera à travers le mur quand les conditions de température changeront.

Nous nous permettons ici une citation tirée du *Guide to Energy Efficiency in Masonry and Concrete Buildings*:[22]

«En résumé, il faut supposer, en s'en tenant à une opinion plutôt prudente, que le gros de la condensation s'accumule, en hiver, dans l'enveloppe du bâtiment, au moins jusqu'à ce que les matériaux situés du côté extérieur du mur soient saturés. Après cela, l'excès de la condensation coule vers le bas et devrait être éliminé par les chantepleures. On ne peut compter sur la ventilation des matériaux situés du côté extérieur du mur et sur leur aptitude à «respirer», comme dans le cas des matériaux très perméables, pour aider à prévenir la saturation causée par les exfiltrations et la condensation de l'air humide en hiver; ces mesures ou ces qualités peuvent cependant aider au séchage plus rapide du mur au printemps.» (traduction libre)

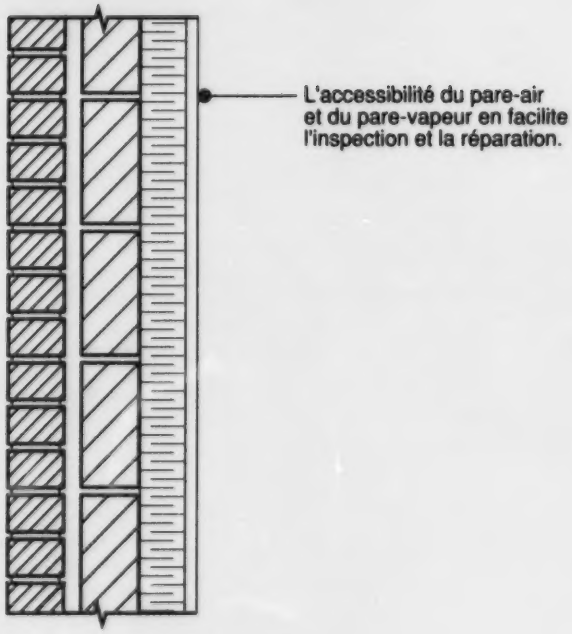


Figure 8.23 Endroit recommandé pour le pare-air et le pare-vapeur lorsqu'un service d'inspection permanent n'est pas disponible

Pour réduire au minimum les défauts sérieux, il faut entreprendre un vaste programme d'éducation à l'intention des corps de métier, des contremaîtres et des entrepreneurs, ainsi que des concepteurs. Il arrive fréquemment que les dessins détaillés et les instructions du cahier des charges ne prévoient pas les difficultés de mise en œuvre sur le chantier et omettent d'insister sur les points suivants :

- l'importance de maintenir la continuité du pare-air et du pare-vapeur au moment de l'installation des services, comme l'électricité, et de la mise en place d'autres composants muraux, comme les attaches;
- la nécessité de ne pas laisser de passages cachés, comme au-dessus du plafond suspendu, derrière les radiateurs, dans les armoires, ou à la jonction du mur avec les cloisons intérieures où se fait le lien entre les éléments intérieurs et les éléments extérieurs de l'enveloppe du bâtiment;
- la réduction au minimum du nombre de joints dans les matériaux de finition intérieure, et leur calfeutrage;
- la réduction au minimum du nombre de joints aux interruptions dans les matériaux de finition intérieure, comme à la jonction des murs de refend ou autour des fenêtres, et leur calfeutrage; et
- la peinture ou l'imperméabilisation des surfaces intérieures.

Un bon exemple des difficultés qu'on peut rencontrer sur le chantier est le pourtour des fenêtres, où les tolérances de construction peuvent avoir des conséquences importantes pour la continuité du pare-air. Dans ce cas, plusieurs matériaux sont utilisés dans un espace confiné, où le travail est compliqué par la présence de nombreux détails, comme les angles, et par le fait que différents corps de métier doivent y travailler, dont certains ne comprennent pas l'importance du pare-air.

Lorsque l'ensemble du bâtiment peut être calfeutré de façon à prévenir les infiltrations ou exfiltrations d'air et que les matériaux de finition intérieure offrent la résistance voulue à la diffusion de la vapeur d'eau, il arrive souvent qu'il n'y a pas lieu d'installer un pare-vapeur distinct. S'il faut en mettre un, le meilleur matériau qu'on puisse choisir est le polyéthylène, qui se vend en grandes feuilles et qui, par conséquent, réduit au minimum le nombre de joints. Le polyéthylène a l'avantage d'être imperméable à la vapeur d'eau, peu coûteux et, s'il est assez épais (0,15 mm ou plus), difficilement endommagé au cours de la construction.

Lorsqu'on installe comme pare-air, sur la surface extérieure du mur de fond, des panneaux de polystyrène cellulaire ou tout autre isolant rigide, il est recommandé que les joints des panneaux soient complètement remplis d'adhésif et que les panneaux soient posés sur une couche complète d'adhésif.

8.10 OBTURATION DES JOINTS

Pour que le pare-air et le pare-vapeur remplissent bien leur rôle, il est habituellement nécessaire d'obturer les joints du matériau utilisé et d'assurer la continuité du pare-air et du pare-vapeur autour des ouvertures telles que les fenêtres, les portes et les perforations pratiquées pour l'installation des services. Normalement, le cahier des charges demande soit un produit de calfeutrage, soit du ruban adhésif. De plus, les joints doivent être conçus en détail, avec leurs dimensions, en tenant compte du fait que tout bâtiment nécessite de nombreux joints de différentes dimensions, puisqu'il est soumis à une grande variété de flexions et de mouvements thermiques.[23]

Si le produit d'étanchéité doit être installé dans le mur et, par conséquent, qu'il est impossible à inspecter et à entretenir plus tard, il doit avoir les qualités qui lui assurent un rendement satisfaisant pendant toute la vie utile du bâtiment, même si l'installation ou l'état des services du bâtiment sont loin d'être parfaits.

Même lorsque le produit d'étanchéité peut être réparé ou remplacé au cours des travaux d'entretien du bâtiment, il doit quand même pouvoir, idéalement, s'adapter à des surfaces et à des conditions environnementales plutôt difficiles et retenir longtemps son adhésivité et son élasticité. Il faudrait donc se baser sur l'expérience acquise sur le terrain et les rapports d'essais relatifs au comportement des produits d'étanchéité à long terme, avant de choisir un produit dans les catalogues des fabricants. Il faut, de plus, tenir compte de la faisabilité et du déroulement des travaux.

8.11 PRODUIT D'ÉTANCHÉITÉ, SUPPORT ET PRODUIT DE REMPLISSAGE

Les joints de dilatation pourraient sans doute mieux remplir leur fonction s'ils ne contenaient aucun produit de remplissage. Un produit de remplissage est nécessaire, cependant, afin de prévenir le passage de liquides ou de gaz par les joints, sans restreindre pour autant les mouvements différentiels entre les composants qui sont joints. Il existe toute une gamme de produits d'étanchéité; les plus courants comportent un ou deux composants, durcissent sous l'effet d'une réaction chimique et sont à base de polyuréthanne, de silicone ou de polysulfures. Le produit d'étanchéité est le principal matériau qui obture le joint; on ajoute ensuite à ce produit dans les joints épais, surtout si le mur est en maçonnerie, un support du produit d'étanchéité et un produit de remplissage, afin de parfaitement obturer le joint. Les éléments d'un joint de dilatation typique sont illustrés dans la figure 8.24.

Le bon rendement à long terme du dispositif d'étanchéité d'un joint de dilatation dépend principalement de l'aptitude du produit d'étanchéité à adhérer aux surfaces de part et d'autre du joint et à se déformer sans se fissurer ni se décoller même après plusieurs cycles de tension et de compression. Cette aptitude dépend beaucoup de la forme et de la grosseur du boudin formé par le produit d'étanchéité; l'idéal est qu'il soit concave des deux côtés et que son épaisseur ne dépasse pas la moitié de la largeur du joint. L'habileté des ouvriers qui le posent est aussi très importante; ils doivent éviter, en effet, de faire entrer de l'air dans le produit d'étanchéité et de laisser des vides entre celui-ci et la surface convexe du produit qui le supporte à l'arrière. Pour bien poser le produit d'étanchéité, il faut suivre les instructions du fabricant.[24]

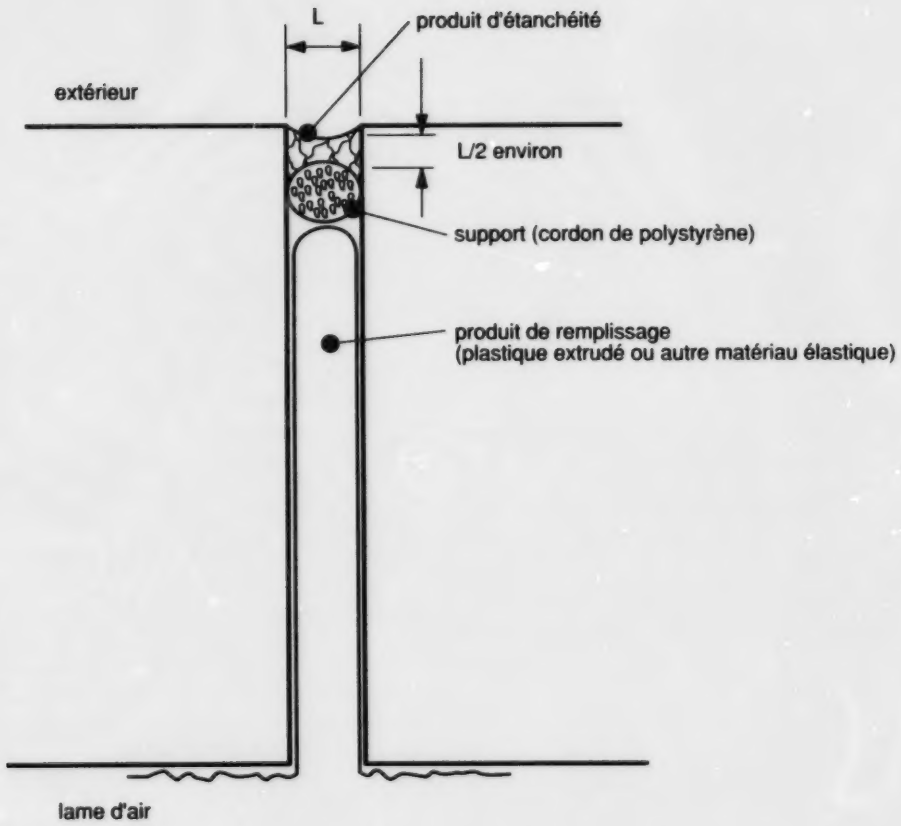


Figure 8.24 Éléments d'étanchéité d'un joint de dilatation

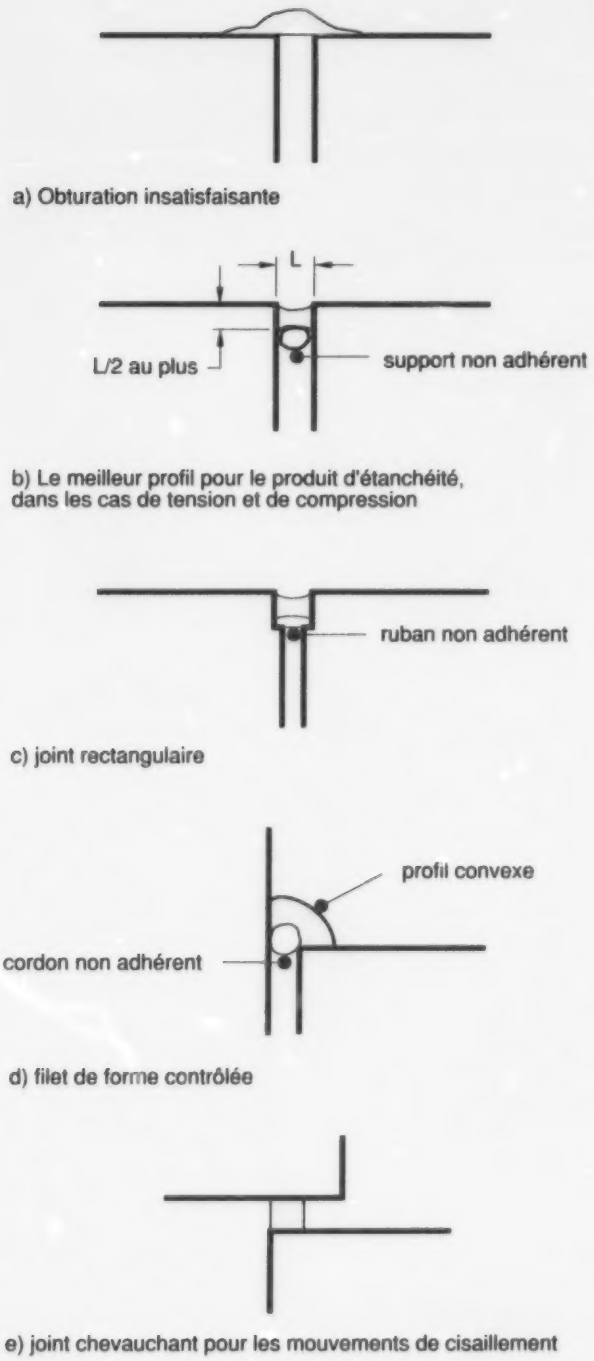


Figure 8.25 Profils et supports non adhérents du produit d'étanchéité

La fonction du support du produit d'étanchéité consiste à offrir une base contre laquelle le produit peut être appliqué, de façon à former un boudin d'étanchéité de profondeur et de forme appropriées. Le support doit être au moins aussi élastique que le produit d'étanchéité lui-même et ne doit pas adhérer à ce dernier. Le support est généralement fait d'une corde de mousse de polyéthylène à cellules closes. La figure 8.25 contient des dessins des divers profils que peuvent prendre le produit d'étanchéité et le cordon non adhérent qui lui sert de support. La conception des joints obturés à l'aide d'un produit d'étanchéité est traitée en détail dans diverses publications bien connues. En résumé, la forme qu'on donne au produit d'étanchéité a un effet considérable sur sa durabilité et son rendement; s'il est simplement écrasé sur une fissure, il ne peut résister longtemps à cause de son exposition aux intempéries et de la forte concentration des contraintes qui s'exercent sur la fissure (*voir* figure 8.25 a]).

La forme à donner au boudin d'étanchéité pour qu'il subisse le moins de contrainte sur la surface de contact et dans le matériau lui-même est la forme concave des deux côtés (*voir* figure 8.25). La forme concave du côté intérieur du joint s'obtient par l'insertion dans le joint d'un cordon compressible en matière plastique, par exemple de la mousse de polyéthylène à cellules closes, qui ne colle pas au produit d'étanchéité. Ce support du produit d'étanchéité sert aussi à contrôler la profondeur et l'uniformité du boudin d'étanchéité. Pour bien appliquer un produit d'étanchéité de haut rendement, d'une capacité de mouvement de ± 25 p. 100, le joint doit avoir au moins 6 mm de largeur et la profondeur du produit d'étanchéité ne doit pas dépasser à peu près la moitié de la largeur du joint. Si l'on utilise un produit d'étanchéité dont l'élasticité est lente, on recommande de donner un peu plus de profondeur au boudin d'étanchéité.

On utilise souvent comme support du produit d'étanchéité des bandes carrées ou rectangulaires (*voir* figure 8.25), lorsqu'on ne prévoit qu'une faible dilatation ou que l'espace de dilatation est trop étroit pour pouvoir y insérer un cordon-support; mais il est mieux, quand la chose est possible, de poser un ruban non adhérent à la base du joint.

On utilise parfois un filet de produit d'étanchéité, de forme plutôt irrégulière, lorsqu'on ne prévoit que très peu de mouvement au joint. Si le filet doit subir d'importants mouvements, il doit avoir un profil convexe et reposer sur un cordon non adhérent placé dans l'angle, afin d'éviter la concentration des contraintes (*voir* figure 8.25).

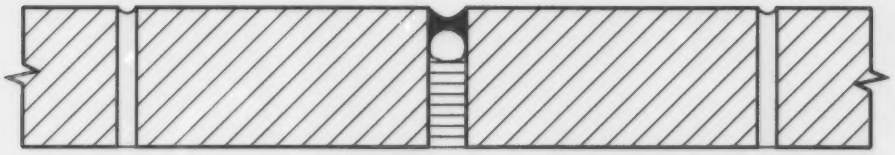
Les joints de dilatation doivent être fermés pour empêcher la pluie, la neige et la poussière d'y entrer, mais aussi, dans certains cas, pour prévenir les infiltrations et exfiltrations d'air. Ceci se fait généralement à l'aide d'un produit de remplissage qu'on ajoute au produit d'étanchéité et au matériau qui le supporte. La figure 8.26 montre un certain nombre de produits de remplissage, depuis le panneau de fibres imprégné de bitume qui ne coûte pas cher jusqu'au cuivre qui est plus coûteux. Le produit de remplissage et le produit d'étanchéité doivent tous deux être assez élastiques pour supporter la dilatation répétée de la maçonnerie dans le joint et reprendre leur forme originale une fois le mouvement inversé.

Il est important de noter que les produits de remplissage comme le panneau de fibres imprégné de bitume, le polystyrène rigide et d'autres matières plastiques, et le caoutchouc solide peuvent transmettre d'appréciables efforts de compression à travers les joints de dilatation. Étant donné que la transmission de ces efforts à travers les joints de dilatation, tant verticaux qu'horizontaux, vont à l'encontre du but de ces joints, il faut s'abstenir d'utiliser ces matériaux. Une autre façon de procéder, au lieu d'utiliser un produit de remplissage, consiste à insérer dans le joint un second boudin du produit d'étanchéité avec son support, afin d'en améliorer l'étanchéité à l'air et à l'eau.

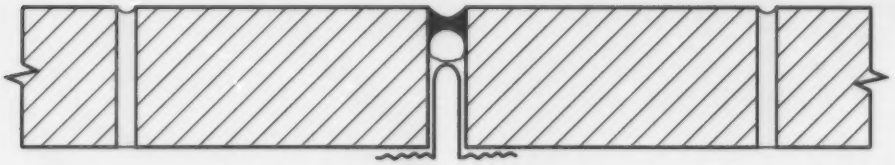
8.12 POINTS FAIBLES

Il est recommandé que toute conception fasse l'objet d'une «évaluation des points faibles» avant d'en arriver à la décision définitive. L'évaluation doit porter sur les points suivants :

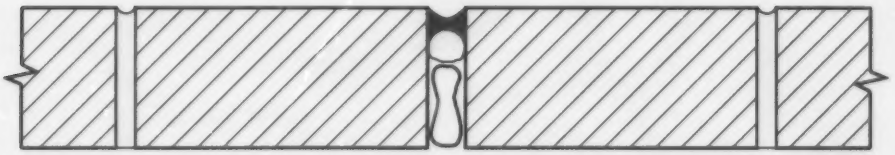
- degré selon lequel les objectifs (exigences) de conception sont atteints;
- coûts, et leur acceptation par l'occupant;
- compatibilité avec les tolérances de construction;
- prise en considération des conditions de construction (température, humidité, propreté, etc.);
- intégration aux autres composants (fenêtres, cloisons connexes, etc.);
- déroulement de la construction et interaction des divers corps de métier;
- caractère réalisable de la construction (p. ex. : simplicité et répétition des détails, réduction au minimum du nombre de composants, dissemblance des matériaux, différents corps de métier);
- possibilité d'inspecter les travaux pendant la construction, afin d'y repérer les défauts et de les corriger;



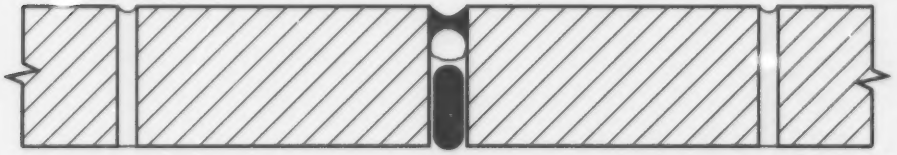
Panneau de fibres imprégné de bitume (non recommandé à cause de sa résistance à la compression et de son manque d'élasticité)



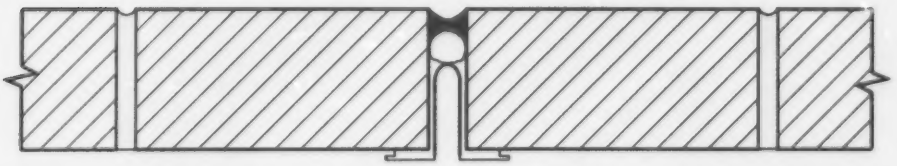
Plastique extrudé



Néoprène



Mousse de caoutchouc ou de plastique préfabriquée



Cuivre

Figure 8.26 Produits de remplissage des joints de dilatation

- longévité des composants dans les conditions environnementales de l'ensemble résidentiel; et
- possibilité d'exécuter les travaux d'entretien et de réparation, une fois la construction terminée.

8.13 CONSTRUCTION

L'examen des questions de conception reliées à la science du bâtiment a souligné la possibilité qu'un système mural se détériore par suite des imperfections qu'on peut s'attendre à trouver dans le pare-air et le pare-vapeur de l'ensemble mural. Pour l'entrepreneur, il existe une préoccupation complémentaire, qui est le degré de perfection possible, dépendant beaucoup de la vulnérabilité des matériaux et des méthodes de construction aux conditions de travail sur le chantier. Par exemple, les matériaux qui s'endommagent facilement, qui sont difficiles à joindre ou à couper pour qu'ils s'adaptent aux ouvertures, ou qui ne s'utilisent que dans certaines conditions de température ou d'humidité sont plus sujets à présenter des défauts de construction.

La complexité ou la multiplicité des détails du mur peuvent influer grandement sur le nombre des imperfections; de façon générale, en effet, les meilleurs détails de construction sont les plus simples et ceux dont le rendement ne dépend pas des éléments les plus faibles. Voici, par exemple, une situation à éviter : mur dont le comportement dépend en grande partie de la tenue en service à long terme d'une simple bande de calfeutrage posée dans un endroit qui sera toujours difficile d'accès à cause des autres matériaux qui doivent le couvrir. De même, la qualité de main-d'œuvre requise, particulièrement dans les cas nécessitant des aptitudes ou une formation spéciales, peut nuire à l'efficacité de la conception. En général, il est bon de réduire au minimum le nombre des corps de métier requis pour la construction du mur.

Finalement, la possibilité de procéder aux inspections est très importante. Si un aspect de la construction exige de très fréquentes inspections, parce que des éléments de construction importants sont vite cachés par d'autres matériaux, ceci doit être considéré comme un point faible de la conception; il faut s'attendre alors à une plus grande possibilité de défauts de construction, à moins que les matériaux utilisés et les méthodes de construction ne soient fondamentalement à l'épreuve de toute erreur. De la même façon, la possibilité de corriger les défauts et d'exécuter les travaux d'entretien réguliers doit faire partie des toutes premières considérations lors de l'évaluation de l'acceptabilité d'une conception particulière. Bien que cette approche soit fondamentale dans un grand nombre de nos constructions, il ne semble pas, pour une raison ou une autre, qu'elle ait été considérée comme une caractéristique importante dans la construction du pare-air et du pare-vapeur.

8.14 PRINCIPALES EXIGENCES DE CONSTRUCTION

En se basant sur l'examen qui précède des exigences de la science du bâtiment et sur d'autres considérations, voici les principales exigences de construction à respecter.

- Il faut avoir recours à une bonne main-d'œuvre pour la construction du placage de brique, afin que les joints de mortier soient remplis et finis à l'extérieur de façon à résister aux infiltrations de pluie.
- Il faut réduire les bavures de mortier au minimum et éviter de boucher les chantepleures, afin que l'humidité puisse être rejetée dehors.
- Un solin sans défaut doit être solidement fixé au mur de fond, avec recouvrement des joints au besoin, afin de réaliser une membrane continue capable de recueillir l'eau et de l'évacuer à l'extérieur.
- Le solin doit être assez large pour se prolonger au-delà de la face extérieure du placage, afin que l'eau qui coule dans la lame d'air soit rejetée à l'extérieur.
- Dans le joint vis-à-vis de la cornière d'appui, il faut installer correctement le produit d'étanchéité sur un matériau qui lui sert de support, afin d'empêcher l'eau de pénétrer, sous la cornière, dans le placage de brique et la lame d'air.
- Les attaches doivent être installées de telle sorte qu'elles ne constituent pas un pont permettant à l'eau d'atteindre le mur de fond, et les perforations pratiquées dans les composants de la face extérieure du mur de fond pour le passage des attaches doivent être obturées comme prévu.
- Les cornières d'appui ne doivent pas être penchées vers l'arrière, ce qui permettrait à l'eau de s'y accumuler, au lieu d'être évacuée à l'extérieur.
- En ce qui a trait à l'isolation thermique, il faut éviter de laisser des espaces entre le matériau isolant et les autres composants du mur, ainsi que des joints ouverts entre les panneaux isolants; la circulation d'air entre et derrière les panneaux isolants peut, en effet, réduire considérablement l'efficacité de l'isolant.
- Lorsque l'isolant, le pare-air et le pare-vapeur doivent être cachés par les matériaux installés subséquemment, il faut veiller particulièrement à réparer les défauts qui pourraient permettre des fuites d'air humide; leur continuité doit être maintenue au-delà de tous les joints, ainsi qu'à leur intersection avec d'autres éléments du bâtiment, tels que les dalles de plancher, les fenêtres et les colonnes.
- Il faut suivre les instructions du fabricant concernant le mode d'emploi du produit d'étanchéité prévu et n'utiliser que le produit de remplissage prévu, afin d'éviter que le freinage du mouvement ne provoque des problèmes par suite des contraintes créées de chaque côté du joint.
- Aucun matériau ne peut être remplacé par un autre sans l'approbation du concepteur.
- Lorsque des matériaux sont cachés par les matériaux installés subséquemment, rendant ainsi les réparations et l'entretien très difficiles, il est indispensable de choisir les matériaux en fonction de leur longue durée de vie.
- Les travaux exécutés doivent être adéquatement protégés contre les dommages que pourraient leur causer les intempéries ou les activités de construction des autres corps de métier.

RÉFÉRENCES

1 Latta, J. K., *Murs, fenêtres et toitures pour le climat canadien, résumé des principes courants pour le choix et la conception*, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches du Canada, Publication spéciale n° 1, Ottawa, 1973, CNRC 13487.

2 Palmer, L. A. et D. A. Parsons, *Permeability Tests of 8-in Brick Wallettes*, Proceedings, American Society for Testing Materials, Vol. 34, Part II, 1934, pp. 419-431.

3 Portland Cement Association, *Water Permeance of Masonry*, Construction Technology Laboratories, Skokie, Illinois, U.S.A.

4 Brick Institute of America, *Water Resistance of Brick Masonry - Construction and Workmanship*, Technical Notes on Brick Construction, 7B, janvier 1985.

5 Drysdale, R. G. et M. J. Wilson, *A Report on Behaviour of Brick Veneer/Steel Stud Tie Systems*, présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, Ontario, mars 1989.

6 Rousseau, J., «Rain Penetration and Moisture Damage in Residential Construction,» *Building Science Insight* '83, DRB/CNRC, mai 1984.

7 Ganguli, U. et W. A. Dagliesh, *Wind Pressures on Open Rain Screen Walls : Place Air Canada*, CNRC, mars 1988.

8 Ganguli, U. et R. L. Quirouette, *Pressure Equalization Performance of a Metal and Glass Curtain Wall*, CNRC, mai 1987.

9 Drysdale R. G. et A. Kluge, *A Report on Performance of Brick Veneer/Steel Stud Wall Systems Subject to Temperature, Air Pressure, and Vapour Pressure Defferentials*, Rapport présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, Ontario, juin 1990.

10 Kluge, A. et R. G. Drysdale, *Environmental Performance of Brick Veneer Curtain Walls – Background and Description of a Test Apparatus*, Fourth North American Masonry Conference, Los Angeles, 1987.

11 Association canadienne de normalisation, CAN3-A370-M84, *Éléments de liaison de la maçonnerie*, ACNOR, Rexdale, 1984.

12 Verhoeven, A. C. et T. H. J. Liem, *Thermal Bridge Calculations for Anti-Condensation Standards*, Building Research and Practice, vol. 6, n° 4, 1978, pp. 224-235.

13 Masonry Council of Canada, *Guide to Energy Efficiency in Masonry and Concrete Buildings*, 1982, 144 pages.

14 Masonry Council of Canada, *Guide to Energy Efficiency in Masonry and Concrete Buildings*, 1982, 144 pages.

15 Quirouette, R. L., *La différence entre un pare-vapeur et un pare-air*, Note d'information de recherche sur le bâtiment n° 54, DRB/CNRC, juillet 1985.

16 Quirouette R. L., *The Air Barrier : A Misunderstood Element*, Construction Canada, novembre 1986.

17 Scheuneman, E. C., *Détermination des gradients de température et des températures de rosée dans l'enveloppe des bâtiments n° 26*, Note d'information de recherche sur le bâtiment, DRB/CNRC, mars 1982.

18 Drysdale R. G. et A. Kluge, *A Report on Performance of Brick Veneer/Steel Stud Wall Systems Subject to Temperature, Air Pressure, and Vapour Pressure Differentials*, Rapport présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, Ontario, juin 1990.

19 Handegord, G. O., *Air Leakage, Ventilation and Moisture Control in Buildings*, Document de la DRB nº 1063, CNRC, 1982.

20 Quirouette, R. L., «Moisture Sources in Houses,» *Building Science Insight* [illegible], DRB/CNRC, mai 1984.

21 Wilson, A. G. et G. K. Garden, *Moisture Accumulation in Walls Due to Air Leakage*, Document technique nº 227, DRB/CNRC, 1965.

22 Masonry Council of Canada, *Guide to Energy Efficiency in Masonry and Concrete Buildings*, 1982, 144 pages.

23 Ashton, H. E., *Evaluating the Performance of Organic Coatings and Building Materials*, ASTM Special Technical Publication 781, 1983, pp. 67-85.

24 Garden, G. K., *Emploi des matériaux de calfeutrement*, Digeste de la construction au Canada nº 96, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, novembre 1969.

CHAPITRE 9

SYSTÈME MURAL PBr-MBé : EXIGENCES DE LA SCIENCE DU BÂTIMENT

9.1 INTRODUCTION

Nous traiterons, dans ce chapitre, des conséquences particulières que peut avoir l'utilisation de murs en MBé sur certains aspects de la science du bâtiment, des points de vue :

- des exigences de calcul;
- des caractéristiques de comportement;
- des aspects pratiques de la construction; et
- de certains points faibles.

La conclusion du chapitre donnera un aperçu des options qui s'offrent au concepteur, ainsi qu'un résumé des points faibles et des exigences de construction associées avec chaque option.

9.2 PROTECTION CONTRE LES INTEMPÉRIES

Comme déjà expliqué dans le chapitre 8, un placage de brique bien construit résiste aux infiltrations d'eau, puisqu'il n'a que de minuscules orifices par où elle pourrait passer. Par ailleurs, le placage ne devrait pas se fissurer par la suite, si :

- un mur de fond solide limite les flexions hors plan dues au vent ou aux secousses sismiques;
- les bonnes attaches ont été utilisées;
- les joints de retrait ont les bonnes dimensions et le bon espacement; et
- les flexions de la structure principale sont limitées.

Il faut faire l'impossible pour s'assurer que le placage soit d'une qualité qui lui permette de bien résister à la pluie. Les placages qu'on qualifie de «véritables passoires» sont des exemples patents d'une main-d'œuvre ou d'une conception de piètre qualité et ne peuvent être considérés comme acceptables en construction. Cependant, afin de régler le problème de l'eau qui pourrait pénétrer dans la lame d'air en passant à travers le placage ou par d'autres endroits, le système mural PBr-MBé doit être conçu comme un système d'écran pare-pluie ouvert. Ce système est basé sur l'équilibre entre la pression d'air dans le vide mural et la pression de l'air extérieur et compte sur le rejet de l'eau hors du vide mural avant qu'elle ne s'infiltre dans le mur de fond. D'où la nécessité d'avoir un vide mural propre et un solin sans perforation, comme l'explique le chapitre 8.

La conception globale du système mural PBr-MBé influe sur le processus de construction, et celui-ci, à son tour, influence le choix des matériaux. Dans le cas d'une structure principale en maçonnerie porteuse, lorsque l'isolant n'est pas installé dans la lame d'air, le placage de brique et le mur de fond en blocs peuvent être construits en même temps, éliminant ainsi le besoin d'échafaudages, fixes ou volants. Ceci exige que le maçon travaille penché par-dessus les blocs pour poser la brique. Cette méthode permet aussi d'utiliser des armatures de joint ou d'autres attaches non réglables pour relier le placage et le mur de fond, pourvu que les rangs des deux correspondent. Lorsque l'isolant est installé dans la lame d'air, ou lorsque la structure principale est faite de béton armé ou d'acier, le mur de fond en blocs est construit d'abord, et ensuite l'isolant et le placage de brique, ou le placage seulement, sont ajoutés. Dans ces cas, bien que des armatures de joint ou d'autres attaches non réglables puissent être utilisées et l'aient été de fait, les problèmes causés par le fait de les plier pour les enlever du chemin et éviter ainsi la difficulté de poser le rang de briques situé juste en dessous ont amené les entrepreneurs à utiliser de préférence des attaches réglables, dont la partie ancrée au placage est placée dans le mortier au fur et à mesure que les rangs de briques sont mis en place.

Qu'on utilise des attaches réglables ou non réglables, la présence de l'isolant dans le vide mural et son ajustement autour des attaches, ainsi que l'interaction des attaches avec les autres composants du mur doivent être considérées. De plus, les essais ont montré clairement que le rendement des divers types d'attaches réglables n'est pas uniforme. C'est pourquoi, du point de vue de la science du bâtiment, les attaches doivent être suffisamment rigides et libres de tout jeu mécanique afin de limiter les mouvements qui pourraient provoquer prématurément la fissuration du placage, la surcharge de certaines attaches, ou des mouvements susceptibles d'endommager le calfeutrage des joints ou d'autres dispositifs d'étanchéité.

Le solin doit satisfaire aux conditions décrites dans le chapitre 8, qui prévoit qu'il doit être suffisamment solide pour ne pas déchirer au vent avant la mise en place du placage de brique. Il doit en outre être solidement fixé au mur de fond. À ce point de vue, voici quelques observations :

- le solin doit remonter de 190 mm sur le mur de fond, s'il est installé sur la face extérieure, ou de 100 mm, s'il est installé sur la face intérieure;
- lorsque le solin est installé sur la face extérieure du mur de blocs, il n'est pas recommandé de le fixer uniquement avec un adhésif ou des agrafes mécaniques, parce que l'eau pourrait s'infiltrer entre le solin et le mur de blocs;

- lorsque le solin est installé sur la face extérieure du mur de blocs, il est recommandé de plier le solin et de l'insérer d'au moins 15 mm dans le joint de mortier qui est immédiatement au-dessus du premier rang de blocs, comme illustré dans la figure 9.1. La partie avant du joint peut être évidée pour permettre d'y insérer la rive supérieure du solin au cours d'une étape ultérieure de la construction. Si le mur n'est pas crépi, le solin doit remonter à l'extérieur de l'isolant jusqu'au point où il est plié horizontalement et inséré dans le joint de mortier. Si le mur est crépi, le solin peut être inséré sous le premier rang de blocs, comme illustré dans la figure 9.2; et
- lorsque l'isolant ou des matériaux de finition sont posés sur la face intérieure du mur de fond en MBé, le solin peut se prolonger sous la base du mur et se fixer au moins 100 mm plus haut sur la face intérieure de la maçonnerie de blocs.

9.3 *RÉSISTANCE AU PASSAGE DE LA CHALEUR*

Le fait de remplir les vides des blocs traditionnels avec de l'isolant en vrac n'améliore peut-être pas suffisamment la résistance thermique globale du mur pour qu'il y ait là un avantage du point de vue des coûts. De toute façon, l'isolant principal sera toujours constitué de panneaux isolants installés sur la face extérieure du mur de fond ou de panneaux ou matelas isolants installés sur la face intérieure. Comme expliqué dans la section 8.8, pour que l'isolant soit efficace, il est très important qu'il soit bien serré sur la face intérieure ou extérieure du mur de fond. Selon l'état de la face où l'isolant doit être appliqué, il se peut qu'il soit nécessaire de la crépir pour qu'elle offre au matériau isolant une surface lisse et plane. Par ailleurs, si l'isolant rigide est fait d'un matériau plastique cellulaire, la circulation d'air derrière l'isolant sera sans doute suffisamment restreinte s'il est posé sur une couche complète ou un quadrillage d'adhésif couvrant tout le mur, en plus d'être fixé au moyen d'un ancrage mécanique. Les panneaux de fibres isolants sont sans doute suffisamment flexibles pour que les dispositifs d'ancrage mécanique les tiennent en contact continu avec la surface du mur de fond.

Étant donné la masse du mur de blocs, les attaches standard ne créent pas de problèmes sérieux de pont thermique, soit par la perte de chaleur, soit par la formation de zones froides sur la face intérieure du mur.

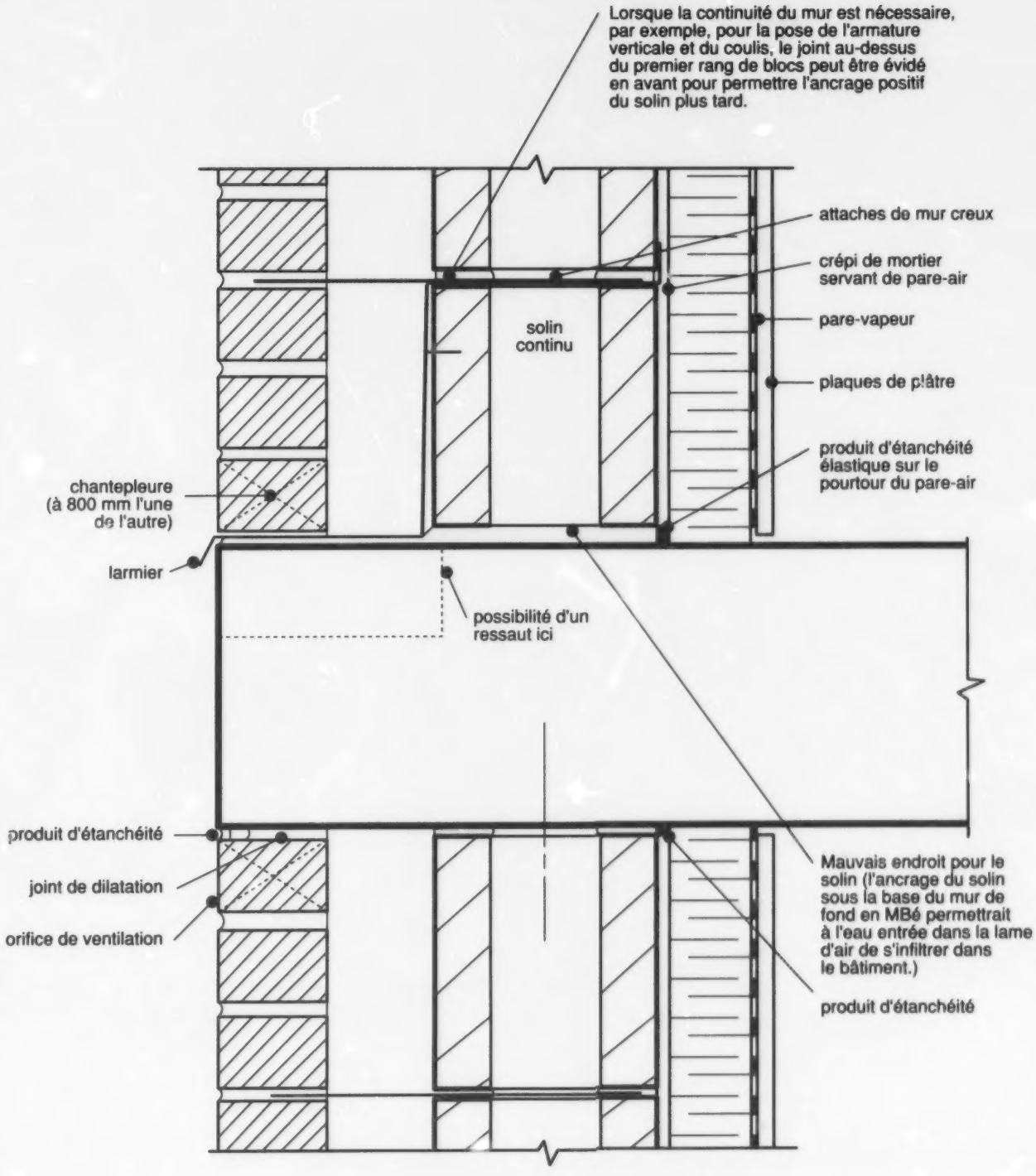


Figure 9.1 Détail d'installation d'un solin pour un mur de fond en MBé

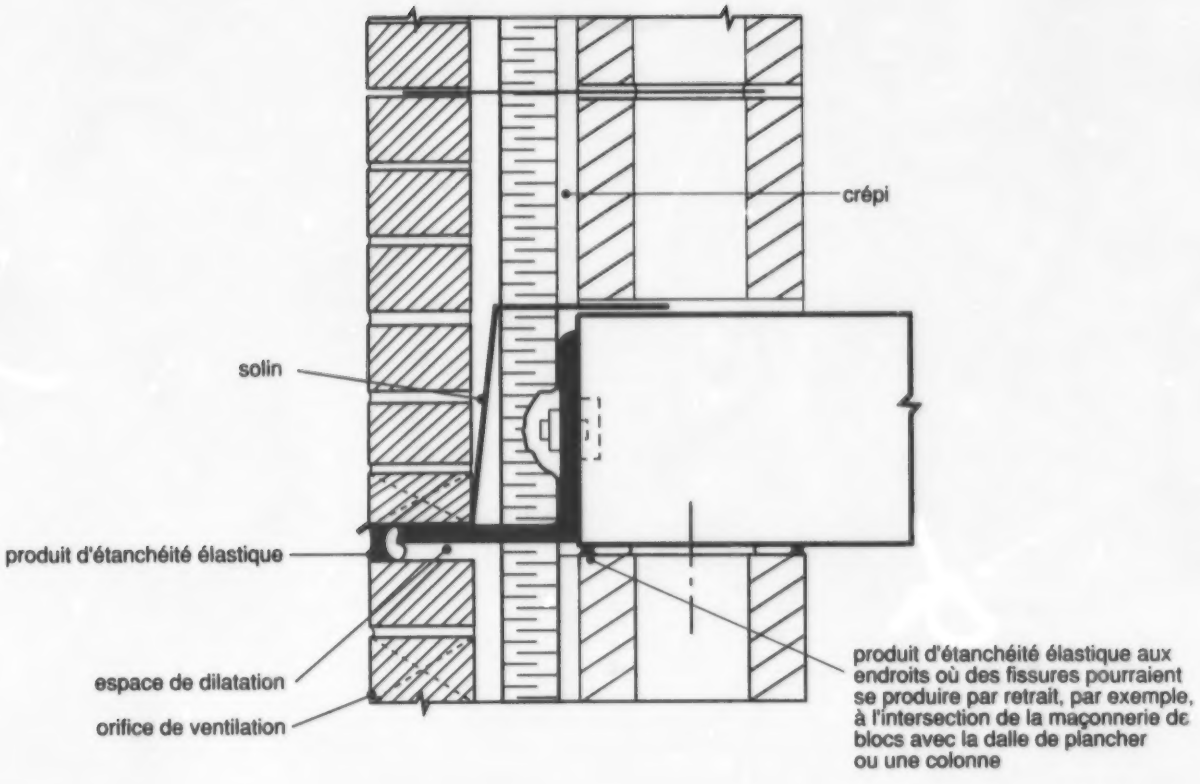


Figure 9.2 Emplacement et ancrage du solin, lorsque la face extérieure de la MBé est crépie

9.4 *RÉSISTANCE AU PASSAGE DE LA VAPEUR D'EAU*

Le pare-vapeur d'un mur de fond en MBé peut s'installer à quatre endroits différents, comme illustré dans la figure 9.3.

Sur ou sous les plaques de plâtre ou tout autre matériau de finition intérieure - Cette méthode est nécessaire lorsque l'isolant est installé sur la face intérieure du mur de fond. Selon les conditions d'humidité, le pare-vapeur peut prendre la forme :

- de deux couches d'une peinture à base d'huile ou d'une peinture alkyde sur les plaques de plâtre;
- d'une feuille de polyéthylène de 0,15 mm d'épaisseur posée sur l'isolant; et
- de l'isolant lui-même, s'il est suffisamment imperméable.

Sur la face intérieure du mur de blocs - Lorsque le mur de blocs doit demeurer visible du côté intérieur, une bonne méthode consiste à couvrir le mur d'une couche de peinture ou de tout autre produit d'étanchéité très imperméable à la vapeur d'eau. Le matériau utilisé doit aussi être capable de boucher complètement les fissures étroites, afin de réduire la quantité d'air qui pourrait s'infiltrer jusque dans les vides des blocs et augmenter les risques de fuites d'air humide par convection en hiver.

Sur la face extérieure de la MBé, sous forme de pellicule imperméable - Lorsque l'isolant est installé sur la face extérieure du mur de fond, le pare-vapeur peut prendre la forme d'une pellicule imperméable auto-adhésive, ou projetée au pistolet ou autrement sur le mur de blocs. Cette pellicule doit être continue, capable de résister aux fissures instables, et demeurer indéfiniment collée au mur de fond malgré les pressions exercées par l'air et la vapeur d'eau et malgré son vieillissement.

Sur la face extérieure de la MBé, sous forme d'isolant rigide - Si l'isolant rigide est suffisamment imperméable à la vapeur d'eau, il peut servir de pare-vapeur, pourvu qu'il soit fermement maintenu en contact avec le mur. Dans certains cas, l'adhésif utilisé pour tenir l'isolant en place constitue lui-même le pare-vapeur si le mur en est entièrement couvert. Par ailleurs, les joints entre les panneaux isolants doivent aussi être complètement remplis d'adhésif et des mesures doivent être prises pour permettre le mouvement sur le pourtour du panneau mural.

9.5 *RÉSISTANCE AU PASSAGE DE L'AIR*

Bien que les murs de blocs se présentent comme de solides constructions étanches à l'air, ils ont de fait un taux très élevé de fuites d'air. Il existe heureusement plusieurs mesures pratiques et inspectables qui peuvent être prises pour rendre les murs de fond en MBé étanches à l'air; les produits utilisés à cette fin doivent être posés en deçà du point de rosée. Les méthodes généralement suivies pour rendre un mur de blocs étanche à l'air sont les suivantes :

- Le crépissage de la face intérieure ou extérieure du mur de blocs réduit considérablement les fuites d'air. C'est là la méthode la plus courante et raisonnablement efficace suivie pour rendre un mur étanche à l'air, mais elle nécessite l'incorporation de pellicules ou d'autres dispositifs permanents qui prolongent le pare-air au-delà des joints de dilatation situés au sommet et sur les côtés du mur.

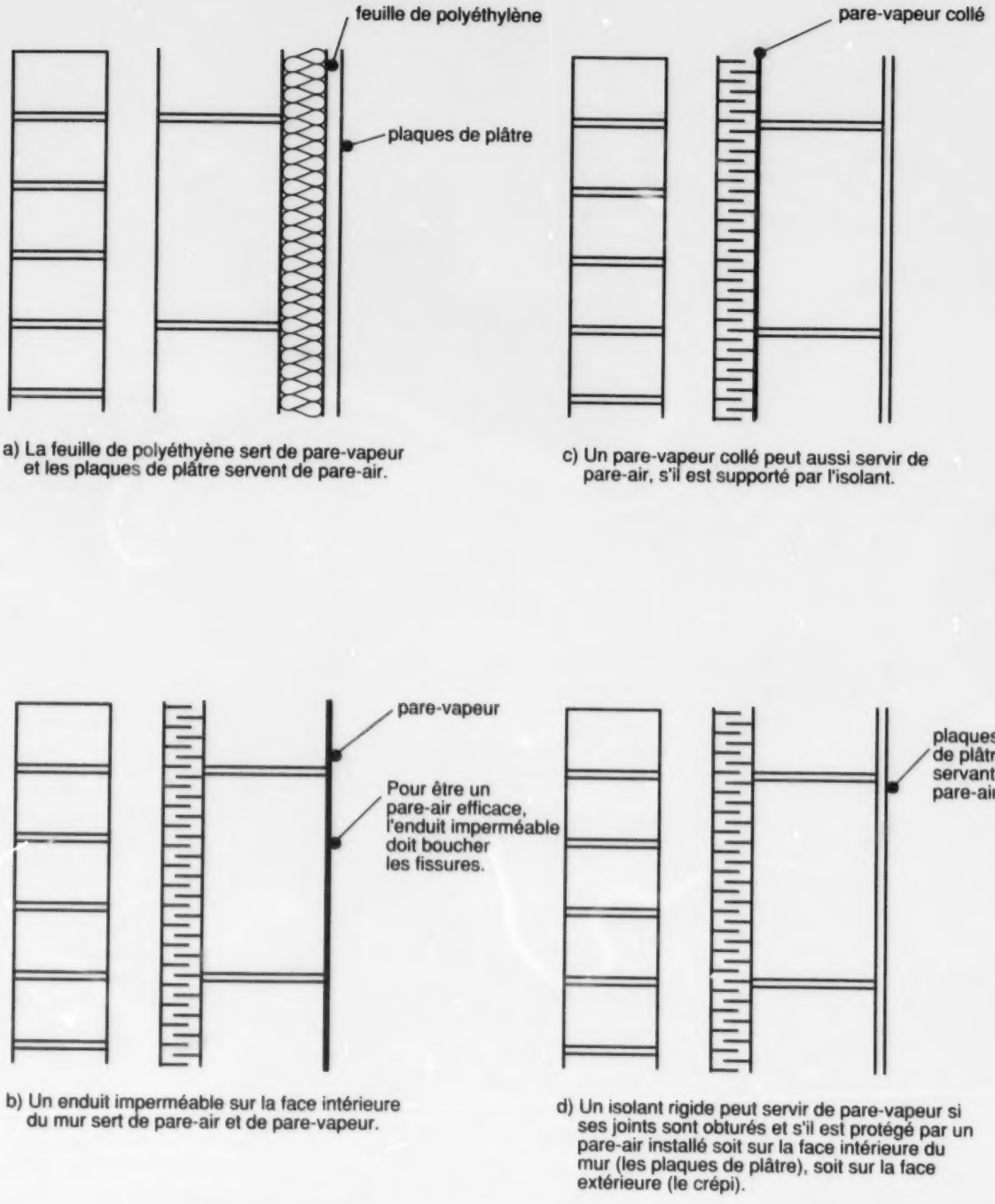


Figure 9.3 Divers endroits où poser le pare-vapeur et le pare-air d'un système mural à mur de fond en MBé

- Pour obtenir un meilleur pare-air au moyen du crépissage, le pare-air et le pare-vapeur peuvent être considérés comme un système combiné où le crépi offre une excellente base pour l'application du matériau servant de pare-vapeur. Celui-ci peut alors couvrir efficacement les fissures qui peuvent se produire dans le crépi, face aux joints de mortier, à cause de mouvements. Cette méthode permet aussi d'intégrer facilement les pellicules ou autres dispositifs destinés à maintenir la continuité du pare-air par-dessus les joints de dilatation. L'isolant externe aide à supporter ces pellicules là où elles passent par-dessus les joints de dilatation.
- Les plaques de plâtre ou tout autre matériau qui couvre la face intérieure du mur peuvent servir de pare-air, pourvu que les exigences de conception et de construction décrites dans la section 8.9 soient respectées. En général, même lorsque les plaques de plâtre ne sont pas conçues pour servir de pare-air principal, il est bon de prendre des mesures susceptibles de les rendre bien étanches à l'air, afin de réduire la circulation d'air dans les vides des blocs du mur (*voir* figure 9.4).
- Si l'isolant rigide installé sur la face intérieure ou extérieure du mur de fond sert de pare-vapeur, il peut aussi jouer en partie le rôle de pare-air si sa parfaite adhérence au mur de fond, ses joints bien remplis d'adhésif, son ancrage mécanique au mur de fond et les mesures prises pour le prolonger au-delà des joints de dilatation en font vraiment un écran continu et solide.

9.6 *REVÊTEMENT INTÉRIEUR DE FINITION*

Le caractère approprié d'un système mural dépend en grande partie de la convenance (ou acceptabilité) des matéria de finition intérieure. En certains endroit comme les cages d'escalier, les vestibules d'entrée, les foyers à feu ouvert et les piè communes, des blocs spécialement traité (peints) en surface ou des matériaux de décoration spéciaux présentant une surfa à nervures éclatées, ou une surface côtelé vernissée ou colorée, peuvent constituer finition intérieure acceptable. Dans ces c l'isolant, le pare-vapeur et le pare-air doivent être installés sur la face extérieur du mur de fond en blocs.

Souvent la finition intérieure est constituée de plaques de plâtre ou de plâtre peints ou couverts de papier peint. La po des plaques de plâtre sur des fourrures et pontage des joints permettent d'obtenir u fini uni et continu; et la présence des fourrures permet l'installation facile de l'électricité et des autres services dans le mur. Dans ces cas, il est plus pratique d'inclure l'isolant, le pare-air et le pare-vapeur du côté intérieur du mur de fond.

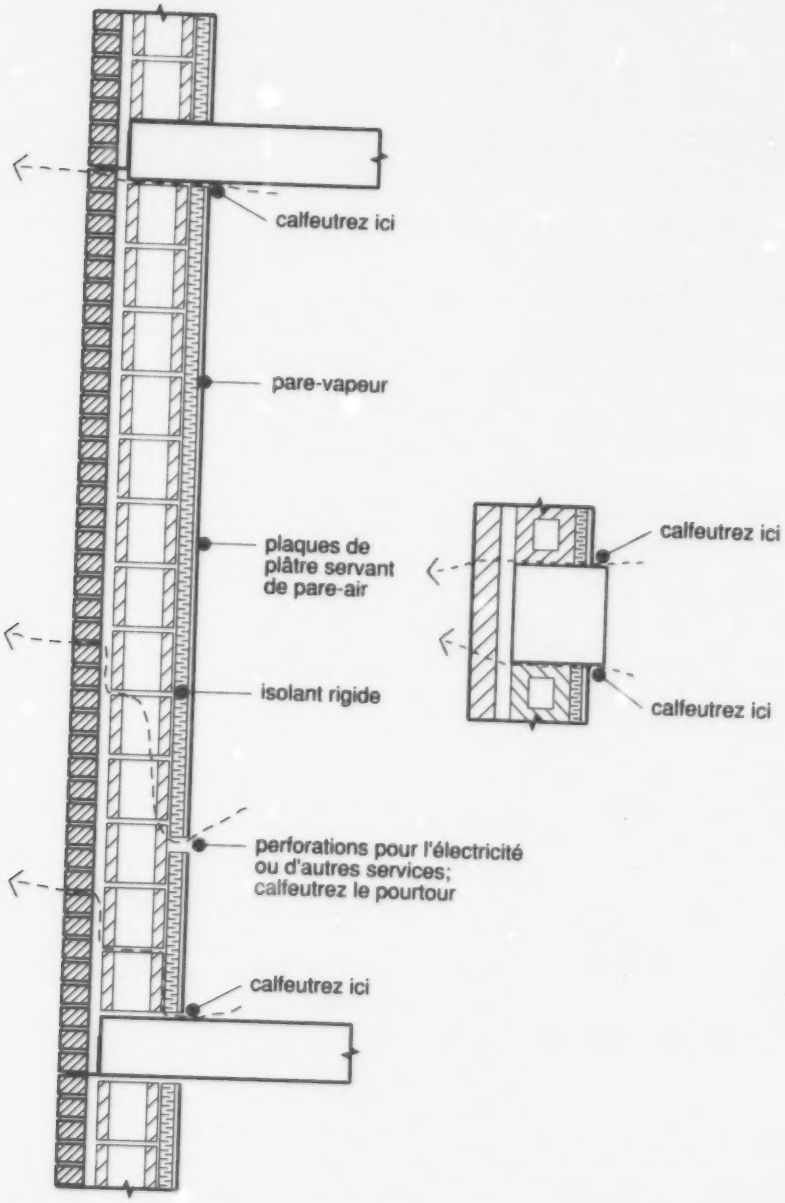


Figure 9.4 Endroits où calfeutrer les plaques de plâtre servant de pare-air afin de réduire les fuites

9.7 EMPLACEMENT DES COMPOSANTS DU MUR

D'un point de vue théorique, l'installation de l'isolant, du pare-air et du pare-vapeur sur la face extérieure du mur de fond est la meilleure façon de réduire au minimum les ponts thermiques et de garder le mur de fond chaud et à l'abri des déformations causées par les variations de température. De plus, si la qualité de la construction initiale et la durabilité à long terme des matériaux peuvent être garanties, cette méthode permet d'adopter de meilleurs détails de conception et de meilleurs matériaux pour l'isolation thermique, le pare-air et le pare-vapeur. Cette méthode de construction élimine aussi les risques de dommages en cours d'utilisation, tels que les dommages causés par l'installation d'appliques murales et les fissures provoquées par les mouvements du bâtiment.

Dans le cas des bâtiments de grande hauteur, le fait d'installer l'isolant thermique, le pare-air et le pare-vapeur sur la face intérieure du mur de fond en MBé facilite le processus de construction et le travail d'inspection, de même que la correction éventuelle des défauts de construction; l'entretien et la réparation de ces composants muraux sont aussi beaucoup plus faciles. De plus, ils peuvent être installés par des ouvriers plus expérimentés et compétents en ce domaine. Lorsque les fenêtres, les murs de refend et les autres composants sont installés plus tard, le maintien de la continuité de l'enveloppe du bâtiment, en particulier du pare-air, ne présente pas de difficulté particulière. Par conséquent, au point de vue construction, bien des raisons militent en faveur de cette façon simple de disposer ces composants muraux.

Il n'y a pas de réponse universelle par rapport à ce choix. Alors que l'installation de l'isolant thermique, du pare-air et du pare-vapeur dans la lame d'air peut être la meilleure solution pour certains types de bâtiment et de clients, leur installation sur la face intérieure du mur de fond, disposition moins efficace mais plus facilement réparable, peut constituer une conception plus pratique dans d'autres situations.

9.8 POINTS FAIBLES

Toute conception doit être soumise à une évaluation des points faibles avant son adoption définitive. En plus de l'évaluation des catégories générales décrites dans la section 8.12, les points faibles à surveiller dans la construction d'un système mural dont le mur de fond est en MBé sont les suivants :

- L'installation de l'isolant sur la face intérieure du mur en MBé augmente les possibilités de fissuration du mur par suite du freinage involontaire des mouvements thermiques.
- Il est difficile d'obturer parfaitement les deux côtés du mur de blocs aux joints. Il s'ensuit que l'air qui pénètre dans les vides des blocs peut circuler dans le mur et sortir par ces joints.
- Le retrait du bloc de béton peut avoir pour effet qu'il se fissure sous l'effet des contraintes ou que les joints obturés s'ouvrent.
- À moins de crépir le mur de blocs, sa surface est parfois si inégale qu'il peut être difficile d'y appliquer l'isolant thermique bien à plat.

- Lorsqu'on utilise des panneaux isolants de largeur standard, l'emplacement fixe des attaches ancrées dans les joints de mortier du mur de fond en MBé peut compliquer la réalisation de joints bien serrés entre les panneaux. Le fait d'utiliser une armature de joint comme système d'attache peut même compliquer l'installation correcte de l'isolant et même nuire à la continuité des panneaux isolants, principalement si l'armature de joint a été courbée.
- Lorsque le PBr et la MBé sont construits en même temps, la quantité de bavures de mortier qui tombe dans le fond de la lame d'air n'en est que plus importante, augmentant ainsi la possibilité que l'évacuation de l'eau ne puisse se faire par les chantepleures.

9.9 *PRINCIPALES EXIGENCES DE CONSTRUCTION*

En se basant sur l'examen qui précède des exigences de la science du bâtiment et sur d'autres considérations, voici les principales exigences à respecter pour la construction du système mural PBr-MBé :

- Étant donné que le mur de fond en MBé contribue à la résistance du système mural à l'humidité, il faut que le remplissage et le façonnage des joints soient bien faits si l'on veut obtenir l'étanchéité désirée à l'air et à l'eau.
- Lorsqu'un crépi est prévu, il doit offrir une surface continue d'au moins 12 mm d'épaisseur.
- Aux joints de dilatation entre la mur de fond en MBé et la structure, l'obturation de ces espaces exige un soin particulier pour que le pare-air et le pare-vapeur offrent une protection continue.
- Étant donné l'influence de la température, froide ou chaude, sur le durcissement du mortier, le crépi et le mortier doivent être mis en place soit au moment où la température le permet seulement, soit en protégeant les travaux en cours contre toute condition de température nuisible.
- Quel que soit l'endroit du pare-air principal, les joints et les perforations pratiquées dans les blocs doivent être obturés afin de prévenir la circulation d'air dans le mur de fond en MBé.
- L'isolant doit être installé de telle sorte qu'il s'applique bien à plat sur le mur de fond et que le matériau isolant offre une surface continue.
- Pour réduire le retrait des blocs au minimum et obtenir une meilleure adhérence, on ne doit utiliser que des blocs secs dans la construction.
- Pendant et après les travaux, les ouvrages de maçonnerie doivent être protégés contre les intempéries, comme indiqué dans la norme A371 de l'ACNOR, *Mise en œuvre de la maçonnerie pour les bâtiments.*

CHAPITRE 10

SYSTÈME MURAL PBr-OA : EXIGENCES DE LA SCIENCE DU BÂTIMENT

10.1 INTRODUCTION

Dans le présent chapitre, les diverses fonctions du mur selon la science du bâtiment seront examinées par rapport à leurs exigences générales et à la façon dont les diverses caractéristiques du mur de fond à OA influencent les décisions relatives :

- aux différents aspects de la conception;
- aux caractéristiques de comportement;
- aux exigences de construction; et
- et aux conséquences que les points faibles repérés ont sur ces décisions.

La conclusion du chapitre donnera un aperçu des options qui s'offrent au concepteur, ainsi qu'un résumé des points faibles et des principales exigences de construction associées avec chaque option.

10.2 PROTECTION CONTRE LES INTEMPÉRIES

Lorsque le placage est raccordé à un mur à OA relativement flexible, la flexion du système mural PBr-OA à la charge de calcul complète peut entraîner des contraintes élevées de tension par flexion dans la maçonnerie de brique. La fissuration, ou non, du PBr dépend de l'ampleur de la flexion et du pouvoir adhérent qui existe, en flexion, entre le mortier et les briques. La conception d'un mur à OA qui serait assez rigide pour prévenir toute fissuration du placage pourrait rendre cette forme de construction non économique. C'est pourquoi la méthode de conception suivante est recommandée :

- En concevant le mur à OA pour qu'il porte toute la surcharge du vent, comme c'est le cas une fois que le placage s'est fissuré, les limites de flexion doivent satisfaire aux critères relatifs à la largeur acceptable pour les fissures de la maçonnerie. Voici une méthode simple et plutôt prudente permettant de prédire la largeur des fissures.

Dans la figure 10.1, si l'on suppose que les longueurs $\frac{L}{2}$ du placage de brique de chaque côté d'une fissure demeurent droites, le rapport géométrique entre une flexion à mi-hauteur sur le placage, Δ_v, et la largeur maximale de la fissure, Δ_c, est

$$\Delta_c = 4\,\Delta_v \frac{t}{L} \qquad \text{(Équation 10.1)}$$

où t est l'épaisseur du placage.

Puis, si la flexion permise pour

$$\Delta_v \text{ est } \frac{L}{C}, \Delta_c = \frac{4\,t}{L},$$

où les concepteurs ont eu tendance à adopter pour C des valeurs s'échelonnant entre 360 et 720.

Par exemple, si une limite de flexion de

$$\frac{L}{600}$$

est prévue pour un placage de brique de 90 mm d'épaisseur, la largeur maximale de la fissure serait

$$\Delta_c = \frac{4(90)}{600} = 0{,}60 \text{ mm.}$$

Il n'existe actuellement aucun critère d'utilisation concernant les largeurs de fissure permises pour les placages de brique.

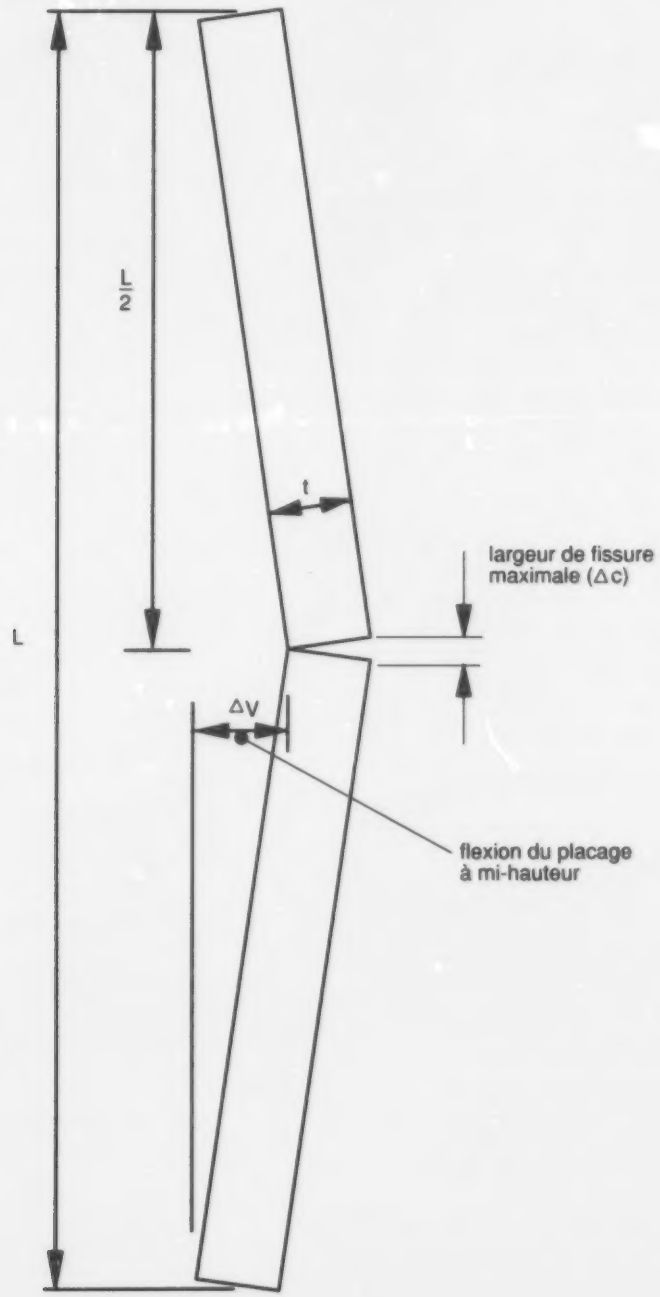


Figure 10.1 Façon simple de calculer la largeur de fissure dans un placage de brique

Cependant, il semble évident et il a été démontré [1] que la fissuration pouvait entraîner une forte augmentation des infiltrations d'eau de pluie poussée par le vent. En plus des infiltrations d'eau, on craint que des fissures suffisamment larges ne puissent aussi donner lieu à des dommages causés par les cycles de gel/dégel. À défaut d'autres renseignements, les largeurs de fissure permises dans le béton armé normal peuvent servir de guide; dans des situations concrètes, des largeurs s'échelonnant entre 0,1 et 0,2 mm sont un maximum.

Par conséquent, même si la largeur de fissure moyenne est prise comme base, il semble qu'une flèche permise de $\frac{L}{360}$ qui donne une largeur de fissure maximale de 1 mm pour une brique de 90 mm ou une fissure moyenne de 0,5 mm, est une valeur plutôt élevée. Pour une flèche de $\frac{L}{720}$ une fissure moyenne de 0,25 mm de largeur est plus acceptable, mais elle est encore relativement importante. Étant donné les explications qui précèdent et l'absence de critères applicables aux largeurs de fissure dans le PBr, le concepteur doit choisir pour les poteaux d'acier une rigidité de calcul qui tient compte des conditions environnementales de l'endroit où le bâtiment sera construit.

En général, il est recommandé que la flèche du PBr ne dépasse pas L/720.

Étant donné que les infiltrations de pluie peuvent augmenter lorsque le placage est fissuré, il y a avantage, dans la conception du système mural PBr-OA, à utiliser la résistance à la flexion du placage de brique pour prévenir la fissuration, sauf si les surcharges sont très élevées. Selon une hypothèse raisonnable, on peut dire que le placage supporte toute la pression du vent et que celle-ci s'exerce depuis la cornière d'appui jusqu'à l'attache la plus élevée. Par ailleurs, l'analyse qui tient compte du comportement bidimensionnel du placage qui agit avec les attaches et avec le mur à OA donne des résultats plus exacts. Lorsque les ouvertures ou les autres caractéristiques du mur provoquent une importante flexion du mur, tant horizontale que verticale, une analyse du comportement tridimensionnel du placage est nécessaire, à la fois pour déterminer comment la surcharge provenant des fenêtres et des autres ouvertures est transmise à la structure et pour y ajouter les avantages, du point de vue résistance, à incorporer la flexion, tant horizontale que verticale.

À titre de guide pour le concepteur, il est suggéré que le placage de brique soit capable de résister, sans se fissurer, soit aux pressions positives maximales du vent non pondérées, soit aux pressions négatives externes maximales du vent sur le revêtement extérieur. Pour les très rares occasions où les pressions positives et négatives complètes combinées s'exercent, la plus grande possibilité de fissuration est considérée comme acceptable, pourvu que la largeur de la fissure soit limitée et que la sécurité globale de la structure soit assurée.

Il est à signaler que la déformation et le jeu des fixations, le déplacement des éléments à la jonction poteau-rail, ainsi que le gauchissement des poteaux d'acier influeront sur la flèche du placage de brique.

Les analyses et les essais ont montré que, lorsque les hauteurs d'étage sont les hauteurs normales des bâtiments résidentiels et que l'adhérence entre les briques et le mortier est bonne, un placage de brique ne devrait pas se fissurer sous l'effet d'une pression normale du vent d'environ 0,5 kN/m^2. En fait, si la force d'adhérence est d'environ 0,7 MPa, le placage pourrait supporter une surcharge du vent allant jusqu'à 1,25 kN/m^2 sans se fissurer.

En plus de la fissuration, il y a plusieurs éléments de la construction qui peuvent nuire à l'efficacité de l'écran de protection contre les intempéries.

PAPIER DE REVÊTEMENT

Selon la Partie 9 du *Code national du bâtiment*, la construction résidentielle nécessite l'utilisation de papier de revêtement sur la face extérieure d'un mur dont l'ossature est faite de poteaux. Cette exigence semble se rapporter à la construction à ossature de bois, où le revêtement intermédiaire est protégé contre le contact direct avec l'eau, les joints du revêtement intermédiaire étant recouverts afin que l'eau ne puisse atteindre l'ossature murale. Étant donné, de plus, que les bandes de papier de revêtement sont jointes avec recouvrement, elles ont pu, dans le passé, servir en partie de pare-air avant la mise en place du bardage ou du placage, leur surface goudronnée jouant alors un rôle de membrane imperméable qui rejettait l'eau directement à l'extérieur.

Actuellement, bien que le papier de revêtement installé à l'extérieur sur un isolant ou sur des plaques de plâtre puisse remplir la même fonction, il n'est généralement pas fixé assez solidement au revêtement intermédiaire. Les piètres pratiques de construction qu'on a observées, telles que l'utilisation de clous pour couverture à travers l'isolant rigide, ou de colle ou de ruban gommé pour fixer le papier de revêtement aux plaques de plâtre posées sur la face extérieure du mur, sont la preuve d'une ignorance totale de la fonction de ce matériau. Lorsqu'il se détache ou est arraché du mur de fond par la succion du vent, il peut devenir un véritable entonnoir qui dirige vers le mur de fond l'eau qui s'est infiltrée dans la lame d'air.

L'aptitude du mur de fond à rejeter l'eau doit être examinée par le concepteur. Il se peut qu'un revêtement intermédiaire hydrofuge, à joints obturés (p. ex. : joints à rainure et languette, joints collés ou joints bouchés avec des matériaux qui gardent leurs propriétés à long terme), soit suffisant, sans papier de revêtement. Si un papier de revêtement est utilisé, il faut préciser comment le fixer pour qu'il garde toute son efficacité.

REVÊTEMENT MURAL INTERMÉDIAIRE

À moins d'employer des méthodes de construction qui empêchent l'eau s'infiltrant dans le placage de traverser la lame d'air (p. ex. : les bavures de mortier sont enlevées), il est nécessaire que le revêtement mural intermédiaire ait une certaine imperméabilité, afin que l'eau coule le long du revêtement au lieu d'être absorbée par lui. De plus, lorsque les attaches ou d'autres composants traversent le revêtement, leur pourtour à l'endroit de la perforation doit être bien obturé pour empêcher l'eau d'y entrer. L'obturation de ces perforations est d'autant plus importante que ces attaches peuvent servir de ponts thermiques froids sur lesquels les fuites d'air humide pourraient provoquer de la condensation. À cause de la possibilité de la présence d'eau en ces endroits, il importe d'y prêter une attention particulière, afin de prévenir la corrosion des attaches et l'endommagement du revêtement mural intermédiaire.

SOLIN

Le solin doit satisfaire aux exigences expliquées dans la section 8.4. À ce point de vue, lorsqu'on n'utilise pas de papier de revêtement sur le revêtement mural intermédiaire, le solin doit remonter derrière le revêtement, comme indiqué dans la figure 10.2; ce peut être là une bonne manière de tenir le solin en place. Lorsque le solin remonte sous le papier de revêtement ou est fixé d'une autre façon sur la face extérieure du revêtement mural intermédiaire, il faut concevoir des détails de construction pratiques qui empêchent l'eau de couler derrière le solin.

10.3 RÉSISTANCE AU PASSAGE DE LA CHALEUR

Une des caractéristiques des murs de fond à OA est le fait que les espaces entre les poteaux peuvent être utilisés pour installer l'isolant, économisant ainsi une certaine surface de plancher. Dans presque tous les cas, on utilise un isolant en matelas qui tient en place par friction. Pour que l'isolant en matelas soit efficace, il faut prévenir la convection; il doit donc remplir complètement les espaces entre les poteaux. Aux endroits où l'on utilise des poteaux jumelés et aux angles, il faut bien veiller à ce que tous les espaces compris entre les poteaux soient aussi remplis d'isolant.

Les essais, les analyses et l'observation confirment que le pont thermique formé par le poteau d'acier entraîne effectivement une baisse de la température du mur directement vis-à-vis du poteau,[2,3] ce qui peut provoquer l'apparition de marques à la surface du mur, ainsi que des pertes de chaleur. Un isolant supplémentaire, habituellement sous la forme de panneaux rigides posés sur la face extérieure des poteaux, doit être ajouté au mur pour les raisons suivantes :

- réduire la perte de chaleur globale, en augmentant la résistance thermique; et
- augmenter la température de l'ossature d'acier en en faisant un pont thermique «chaud,»

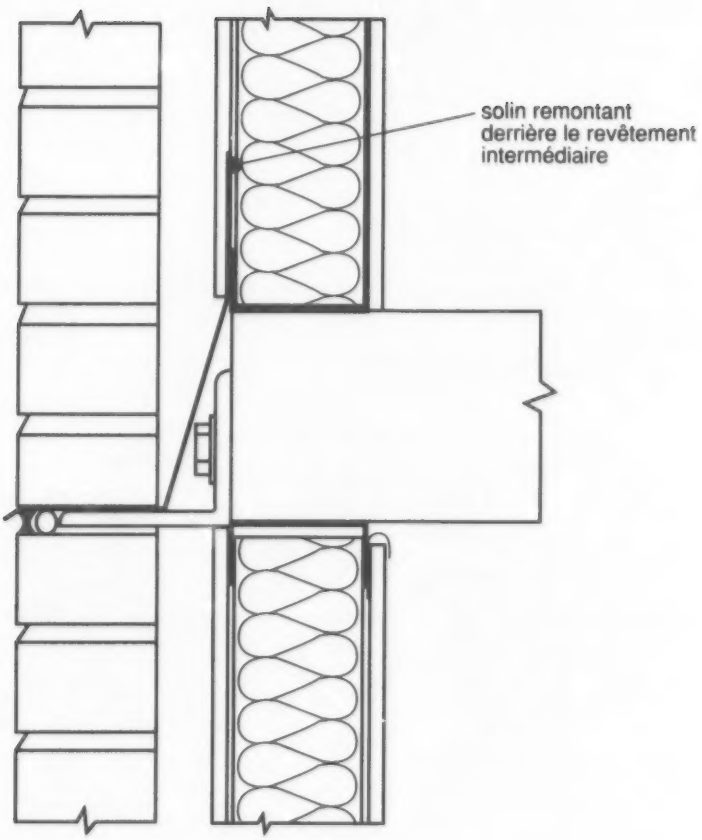


Figure 10.2 Insertion du solin derrière le revêtement intermédiaire

Ceci prévient les marques sur la surface intérieure du mur et, étant donné que les composants en acier sont plus chauds que les matériaux environnants, il est peu probable que la condensation s'accumule sur les composants d'acier, principalement les vis qui retiennent les attaches sur les poteaux. Pour que l'isolant rigide soit efficace, il doit être fixé de façon à ne laisser aucun espace entre lui et le revêtement mural intermédiaire, ni entre lui et l'isolant en matelas lorsqu'il constitue lui-même le revêtement mural intermédiaire. La figure 10.3 fait voir les profils thermiques de la ligne des poteaux et des espaces entre les poteaux, aussi bien sans isolant extérieur qu'avec un isolant extérieur.[4,5] L'isolant extérieur peut être considéré comme un excellent moyen de réduire les pertes de chaleur et de garder les poteaux d'acier à des températures supérieures au point de rosée.

L'isolant rigide extérieur doit se prolonger au-delà du plancher, afin d'offrir une isolation continue sur toute la hauteur du bâtiment, comme illustré dans la figure 8.24. Il doit être attaché aux poteaux avec des vis munies de rondelles assez larges ou d'autres éléments de répartition des surcharges, afin d'éviter qu'il ne s'arrache quand les pressions s'exerceront sur lui.

10.4 RÉSISTANCE AU PASSAGE DE LA VAPEUR D'EAU

Le pare-vapeur doit être installé du côté chaud de l'isolant ou, au moins, en deçà du point de rosée; ce qui veut dire que, dans la plupart des cas, le pare-vapeur sera posé sur la face intérieure des poteaux. Les deux formes de pare-vapeur les plus courantes sont :

- le polyéthylène de 0,15 mm d'épaisseur, à joints recouverts sur une distance égale à l'espace entre deux poteaux ou à joints scellés. Étant donné que le polyéthylène en feuille ne laisse pas passer l'air, il doit être supporté sur toute sa surface.[6] La méthode la plus courante d'installer les feuilles de polyéthylène consiste à les poser entre les plaques de plâtre et les matelas d'isolant. Cependant, si des fuites d'air se produisent à travers les plaques de plâtre, le pare-vapeur risque de comprimer les matelas d'isolant et de créer ainsi un espace favorable aux pertes de chaleur par convection.
- le revêtement intérieur de finition. Le pontage des joints des plaques de plâtre et la pose de deux couches d'une bonne peinture au latex ou d'un papier peint en vinyle suffisent pour les conditions environnementales qui existent à l'intérieur de la plupart des bâtiments résidentiels. Il faut réduire les fuites d'air sur le pourtour des murs et des ouvertures pratiquées dans les murs, en les obturant au moyen d'un produit d'étanchéité, même si le revêtement intérieur ne joue pas le rôle de pare-air.

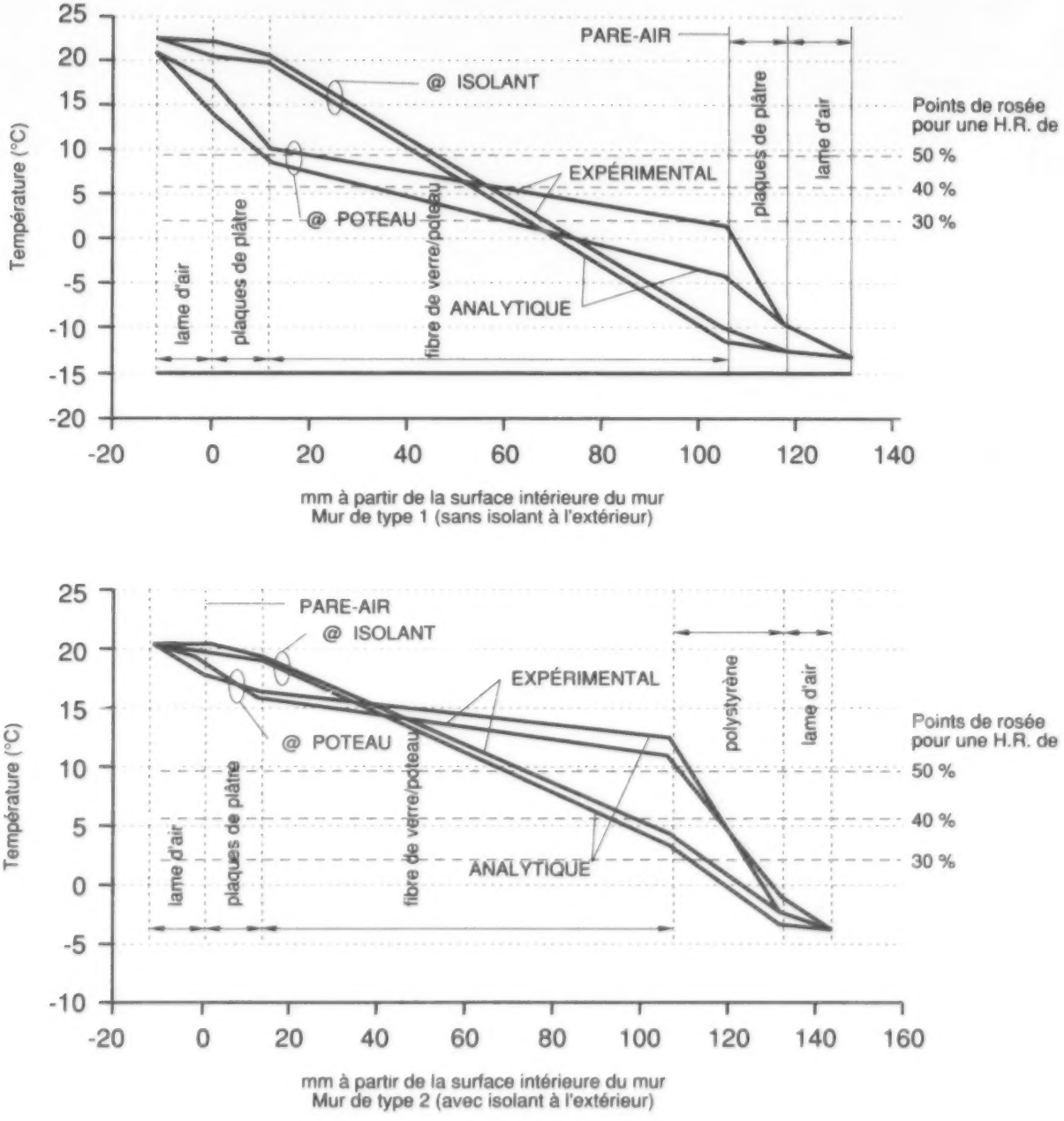


Figure 10.3 Variation de la température le long de la ligne des poteaux et dans les espaces entre les poteaux, avec et sans isolant à l'extérieur

Lorsqu'un isolant rigide est installé sur la face extérieure du mur de fond, cet isolant peut lui-même constituer un bon pare-vapeur. Cependant, avec un isolant en matelas de 90 mm d'épaisseur installé entre les poteaux d'acier, le point de rosée se situe normalement à l'intérieur de l'isolant en matelas, à moins de prévoir, dans la conception du mur, un isolant rigide d'une épaisseur inhabituelle. À défaut de calculs plus précis, une règle expérimentale dit que les deux tiers de la résistance thermique doivent se situer en dehors du pare-vapeur, sinon l'humidité se condense sur la face intérieure de l'isolant rigide, ce qui peut entraîner :

- une forte teneur en eau de l'isolant en matelas, réduisant ainsi à court terme son coefficient de résistance thermique et pouvant à long terme amener les matelas à s'affaisser;
- une accumulation de givre et d'eau sur la face intérieure de l'isolant rigide ou des plaques de plâtre extérieures. Cette eau peut alors couler jusque sur le rail inférieur et provoquer la corrosion du rail et des dispositifs d'ancrage; ou bien les plaques de plâtre peuvent se ramollir au point de ne plus remplir leur fonction originale; et
- dans des conditions extrêmes, la formation de moisissures et de champignons qui, en plus d'être nuisibles à la santé, peuvent diminuer la durée de vie des éléments de construction.

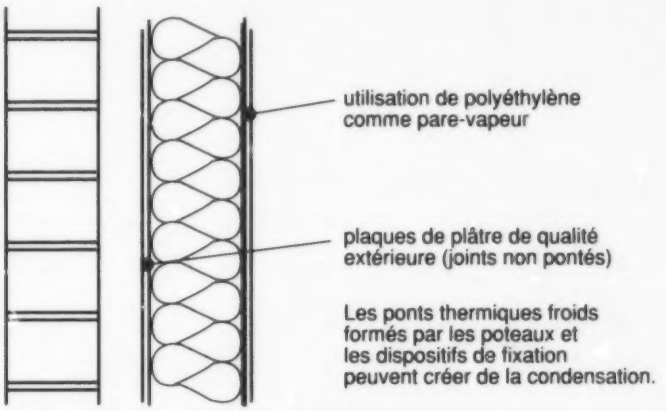
10.5 RÉSISTANCE AU PASSAGE DE L'AIR

Comme complément aux explications données sur le pare-air dans la section 8.9, on peut apporter de solides raisons, positives ou négatives, pour installer le pare-air sur la face intérieure plutôt que sur la face extérieure du système mural à OA, ou vice versa. Nous insistons de nouveau sur le fait qu'une évaluation des points faibles de l'une et l'autre solution peut aider à prendre une décision. (*Voir* figure 10.4.)

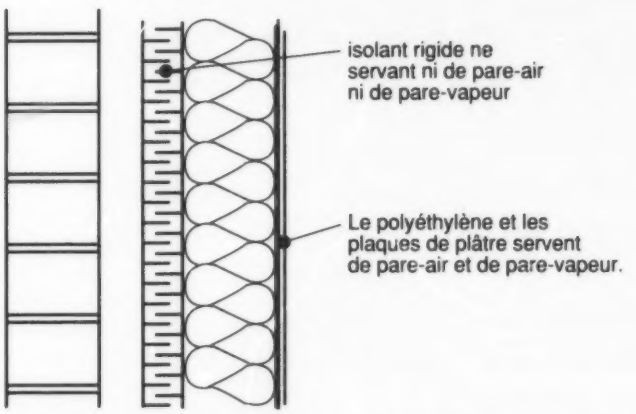
LES PLAQUES DE PLÂTRE SERVENT DE PARE-AIR INTÉRIEUR

Si les plaques de plâtre formant la face intérieure du mur de fond à OA servent de principal pare-air, elles ont les avantages suivants :

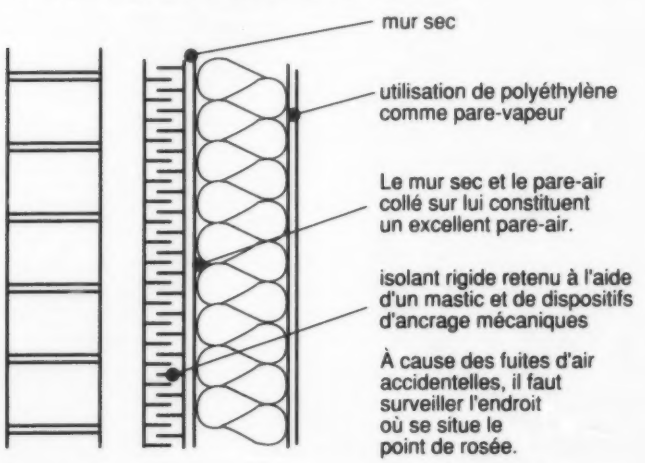
- le pare-air et tous ses composants étant maintenus à la température de la maison, les risques de fissuration due aux mouvements thermiques ou au craquellement des produits d'étanchéité sont moins grands. De plus, la température du pare-air étant au-dessus du point de rosée, il risque moins d'être atteint par l'humidité;
- il est relativement facile d'inspecter le pare-air et de corriger les défauts, s'il y a lieu, presqu'à n'importe quelle étape de la construction, puisqu'il n'est pas couvert par d'autres éléments de construction;
- comme ci-dessus, il est facile d'exécuter les travaux d'entretien et de réparation que requiert le revêtement mural intérieur, par exemple, le remplacement du produit de calfeutrage, quand celui-ci est un élément du pare-air; et



a) Isolant entre les poteaux seulement



b) Isolation sur la face extérieure du mur de fond



c) Isolant et pare-air sur la face extérieure du mur de fond

Figure 10.4 Endroits où peuvent être installés le pare-vapeur et le pare-air quand le mur de fond est à OA

- il est plus facile d'assurer la continuité de pare-air autour des bâtis de fenêtre et des autres ouvertures dans le mur, lorsqu'il est difficile, à cause des solins installés au-dessus et au-dessous des fenêtres, de réaliser une étanchéité permanente à l'air sur la face extérieure du mur de fond à OA.

Voici, par contre, les désavantages de cette méthode :

- certaines activités des occupants, comme la suspension de tableaux ou la pose de rails de rideaux au mur, peuvent occasionner la perforation du pare-air;
- l'installation des services, comme l'électricité, peut nécessiter, dans le pare-air, des perforations assez importantes (p. ex. : les prises de courant) et difficiles à calfeutrer; et
- les joints de dilatation, en particulier le joint au rail supérieur qui permet le mouvement vertical, peuvent être difficiles à obturer, des considérations esthétiques ne permettant pas toujours l'utilisation de matériaux ou de techniques de construction vraiment efficaces.

LE REVÊTEMENT MURAL INTERMÉDIAIRE SERT DE PARE-AIR

Si le revêtement posé sur la face extérieure du mur de fond sert de pare-air, il a les avantages suivants :

- une fois installé, le pare-air est très peu susceptible d'être endommagé par les corps de métier qui se succèdent ou par les occupants; et
- cette méthode permet d'utiliser de nouveaux matériaux, tels que des pellicules d'étanchéité collées, ou projetées au pistolet ou autrement, sur les joints situés entre les éléments du revêtement mural intermédiaire et entre celui-ci et la structure adjacente.

Cette méthode a, par contre, les désavantages suivants :

- la construction n'est pas facile à inspecter et, à moins de bénéficier d'un service d'inspection permanent ou de retarder les travaux en cours jusqu'à ce que l'inspection puisse se faire, d'importantes parties du pare-air risquent d'être recouvertes avant qu'elles ne soient inspectées comme il se doit;
- l'entretien à long terme et la réparation des endroits détériorés ou des défauts sont pratiquement impossibles. La qualité exceptionnelle de la construction doit alors être garantie et les matériaux doivent avoir d'excellentes caractéristiques de rendement à long terme; et
- le pourtour des attaches, des vis et des autres dispositifs fixés au mur peut être difficile à boucher.

Comme illustré dans la figure 10.5, si l'on veut garder au pare- air toute son efficacité, il est important de concevoir de bonnes méthodes, applicables en construction et capables d'assurer la continuité du pare-air :

- au rail inférieur;
- aux joints de dilatation (surtout au joint situé au sommet du mur de fond, qui permet le mouvement vertical);
- aux fenêtres et autres ouvertures;
- à la jonction du mur de fond avec les cloisons ou d'autres éléments de la structure; et
- aux endroits où le pare-air a été perforé pour l'installation des services ou d'autres éléments.

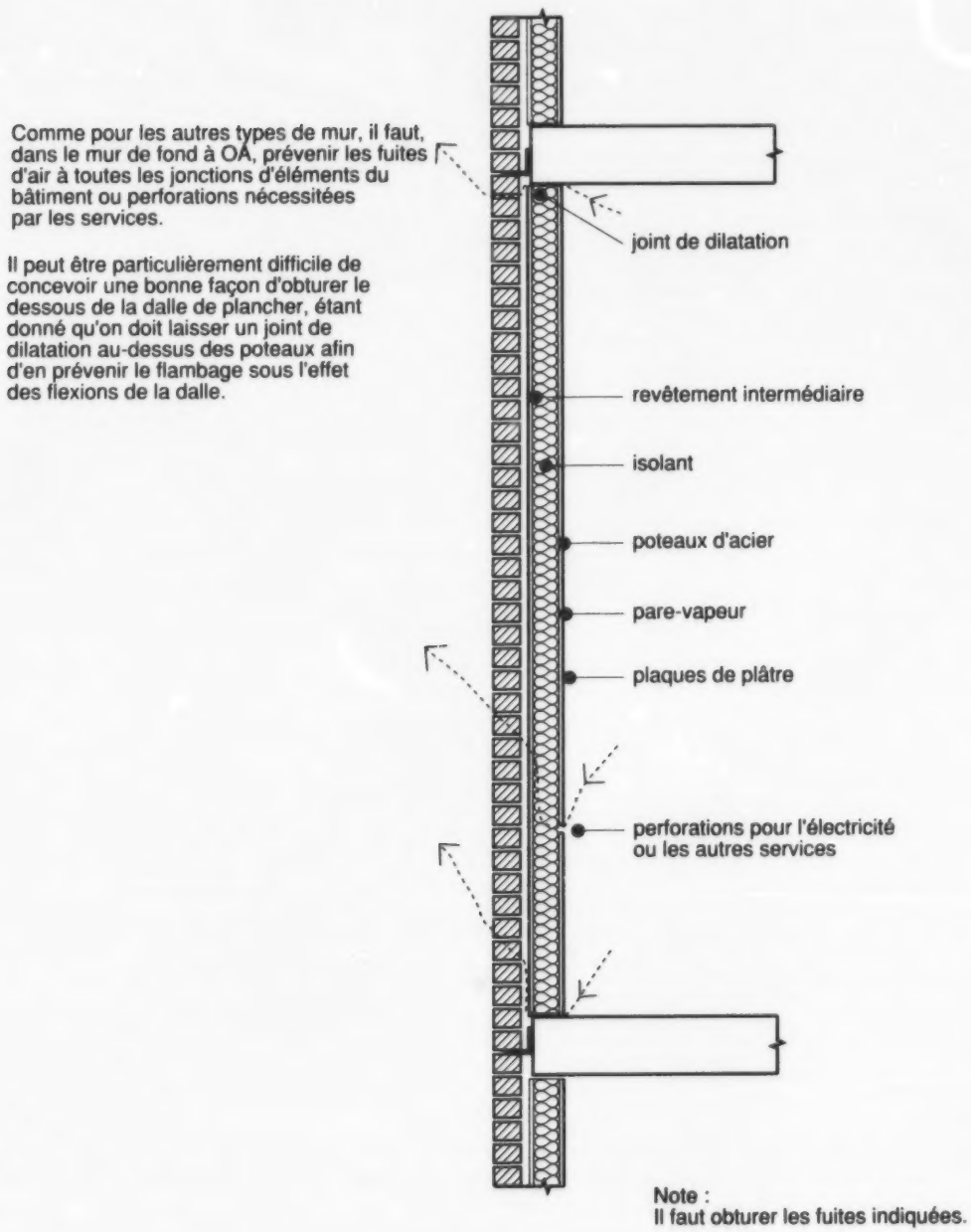


Figure 10.5 Fuites d'air typiques dans un système mural PBr-OA

10.6 REVÊTEMENT INTÉRIEUR DE FINITION

Dans la construction résidentielle, les plaques de plâtre sont le principal matériau utilisé pour recouvrir la face intérieure du mur de fond, à cause de sa résistance au feu, de son faible coût, de son installation facile et de ses qualités comme support des produits de finition intérieure proprement dits. Une fois les joints et les angles remplis et pontés, le revêtement intérieur en plaques de plâtre présente une excellente surface plane pour la peinture, le papier peint, les panneaux décoratifs, les carreaux de céramique, la toile, et pour l'aménagement de placards encastrés.

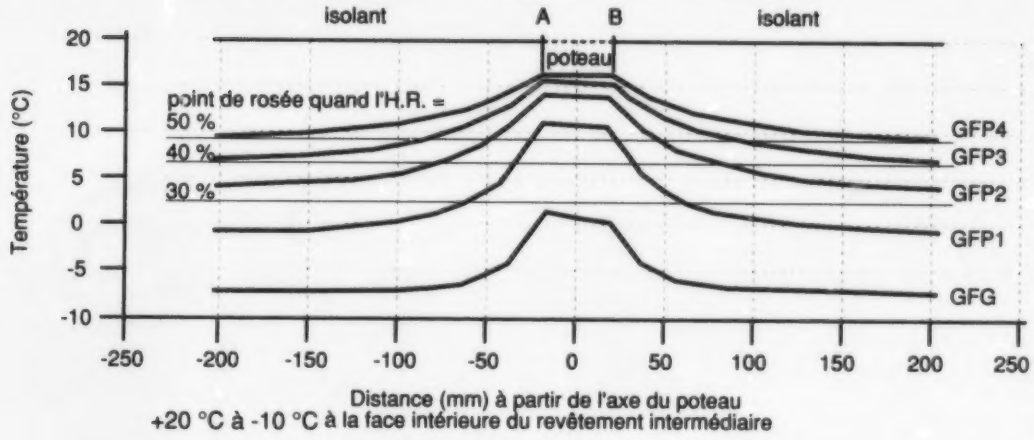
Le principal inconvénient du revêtement intérieur de finition en plaques de plâtre est qu'il ne tolère pas d'être mouillé.

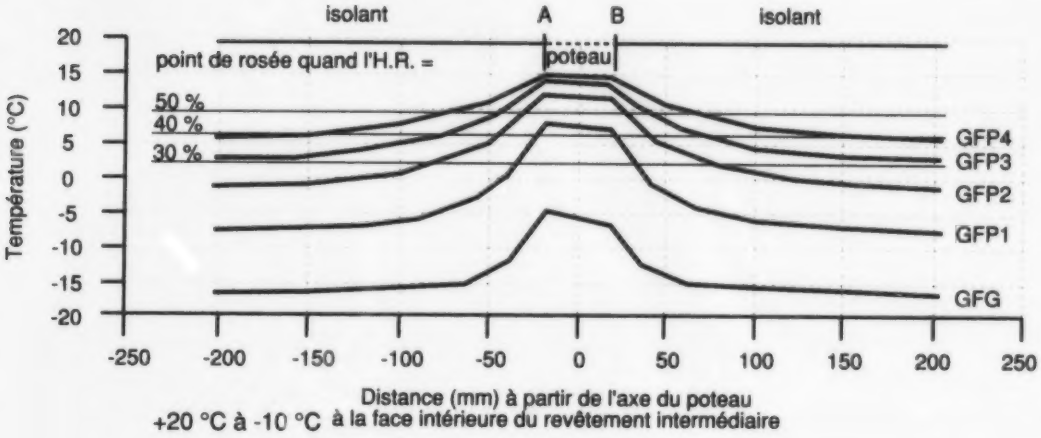
10.7 EMPLACEMENT DES COMPOSANTS DU MUR

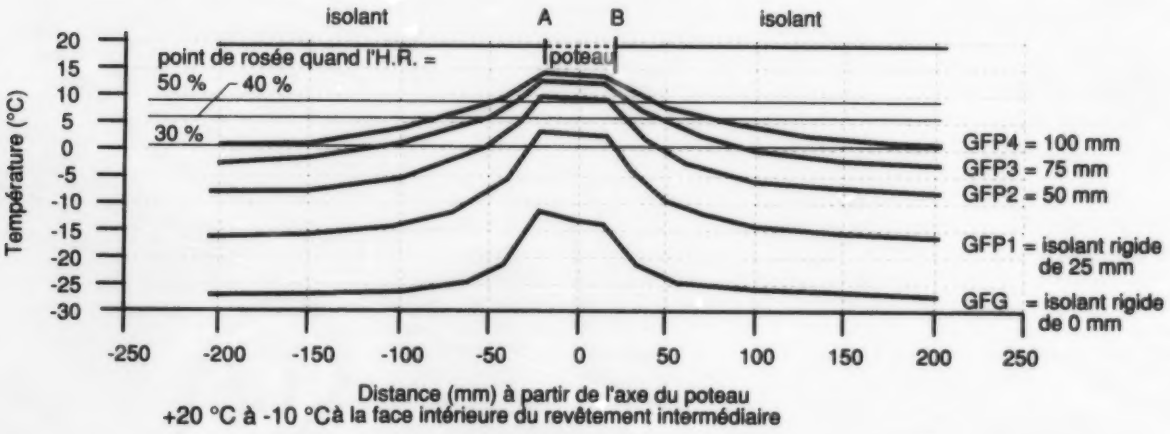
D'un point de vue théorique, il est bien connu que le pare-vapeur doit être installé du côté chaud de l'isolant ou, lorsqu'il y a plusieurs épaisseurs d'isolant, en deçà du point de rosée. On sait aussi que l'isolant installé sur la face extérieure du mur de fond est très efficace, parce qu'il aide à garder les composants du mur chauds. La réduction au minimum des déformations dues aux variations thermiques, la prévention de la condensation, et des températures modérées sont toutes des éléments qui contribuent à maintenir l'intégrité du pare-air et du pare-vapeur. Étant donné que les composants d'acier du mur de fond sont des zones de ponts thermiques, il est important d'adopter les moyens susceptibles d'en réduire le plus possible les effets.

L'installation de l'isolant sur la face intérieure du mur de fond à OA est certes possible, mais cela a pour effet que les poteaux d'acier sont beaucoup plus froids et, par conséquent, plus sujets à provoquer la condensation de l'humidité de l'air. La figure 10.6 illustre la répartition des températures sur la face intérieure du revêtement intermédiaire pour différentes épaisseurs d'isolation thermique. Les points de rosée pour l'air qui sort de bâtiments humides sont aussi indiqués pour les situations où la température intérieure est de 20 °C et l'humidité relative, de 30, 40 et 50 p. 100. Dans la figure 10.6 a), les trois graphiques représentent des gammes de températures s'échelonnant, sur la face intérieure du revêtement intermédiaire, de 20 °C à -10 °C, 20°C à -20 °C et 20°C à -30 °C respectivement. Les cinq cas présentés dans chaque graphique correspondent à des épaisseurs d'isolant extérieur s'échelonnant entre 0 mm et 100 mm. Étant donné que les matelas isolants remplissent les espaces entre les poteaux du mur, la température sur la face intérieure du revêtement intermédiaire est inférieure au point de rosée pour nombre des situations décrites. À cause de leur exposition à l'air chaud de l'intérieur, cependant, les poteaux d'acier peuvent être suffisamment isolés pour maintenir une température qui dépasse le point de rosée de l'air qui fuit à l'extérieur.

Dans la figure 10.6 b), divers modes d'isolation sont comparés. Les murs qui ne sont isolés que sur la face extérieure du mur de fond sont les moins sujets à la condensation, tandis que les murs traditionnels où l'isolant est placé entre les poteaux ou sur la face intérieure sont les plus sujets à provoquer la condensation de l'humidité de l'air chaud provenant de l'intérieur. Dans ces deux derniers cas, il est essentiel d'avoir un très bon pare-air, afin de prévenir les effets dommageables de la condensation.

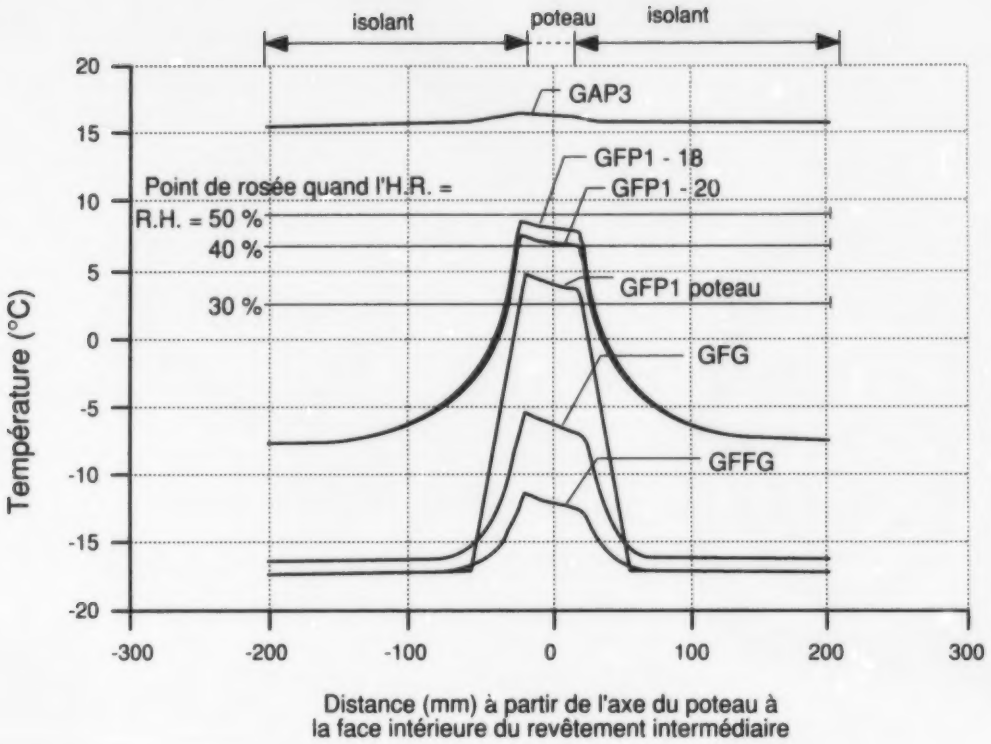






Note :
Le revêtement intermédiaire est fait de plaques de plâtre (G) ou de polystyrène (P).
Toutes les données ont trait à un mur constitué de plaques de plâtre de 12,5 mm posées sur des poteaux de 92 mm de largeur et faits d'acier d'épaisseur n° 20, et remplis de matelas isolants en fibre de verre (F) entre les poteaux.

Figure 10.6 a) Répartition des températures sur la face intérieure du revêtement intermédiaire, selon diverses épaisseurs d'isolant rigide posé sur la face extérieure du mur de fond



GAP3 = mur de fond sans isolant entre les poteaux, mais avec un isolant rigide de 75 mm sur la face extérieure

GFP1-18 et GFP1-20 = mur de fond avec isolant en fibre de verre entre les poteaux et un revêtement intermédiaire en polystyrène de 25 mm
Des poteaux en acier d'épaisseur n° 18 et n° 20 ont été utilisés

GFP1 = cas où un isolant rigide a été posé directement sur l'aile extérieure des poteaux

GFG = mur de fond couvert de plaques de plâtre, mais sans isolant sur la face extérieure

GFFG = mur traditionnel, mais avec un isolant de fibre de verre de 25 mm installé sur l'aile intérieure des poteaux

Figure 10.6 b) Répartition des températures selon la composition du mur

Si l'on suppose qu'il y aura toujours une certaine quantité de fuites d'air humide, il semble raisonnable de choisir le matériau isolant et l'endroit où l'installer qui contribueront à réduire la condensation au minimum, en particulier sur les composants à haut risque. De plus, pour les cas où la condensation se produit quand même, il importe d'évaluer dans quelle mesure et à quel rythme le mur pourra sécher.[7]

Comme nous l'avons déjà expliqué dans les sections 8.9 et 8.13, la décision concernant l'endroit où installer le pare-air doit être basée sur des considérations pratiques telles que les exigences en matière d'inspection, la possibilité de le réparer, sa durabilité à long terme et son entretien. L'installation du pare-air sur la face extérieure ou la face intérieure du mur de fond à OA peut donc être tout à fait indiquée, selon les situations particulières.

10.8 POINTS FAIBLES

Nous avons déjà recommandé de soumettre toute conception à une «évaluation des points faibles,» avant de l'adopter définitivement. En plus des aspects généraux indiqués dans la section 8.12, il importe d'évaluer les points faibles suivants qui sont particuliers à l'utilisation d'un mur de fond à ossature d'acier :

- les risques de fissuration du placage et les conséquences que des infiltrations plus fortes pourraient avoir sur le comportement du mur;
- les conditions de construction et l'efficacité du contrôle de la qualité qui permettront de construire un pare-air presque parfait. (Le pare-air et le pare-vapeur doivent être conçus de façon à offrir une surface continue et à couvrir les joints de dilatation. Le choix des composants du pare-air d'un système mural PBr-OA doit être basé sur le niveau et la fréquence des inspections requises pour obtenir un comportement satisfaisant.)
- la durabilité du pare-air à long terme et la possibilité d'en effectuer l'entretien régulier;
- le support du pare-vapeur, s'il est un composant distinct du revêtement mural intérieur;
- la conception du pare-air et du pare-vapeur doit être évaluée comme un ensemble à double protection à travers lequel des infiltrations ou exfiltrations peuvent éventuellement se produire; et
- les dispositions relatives à la conception et à la construction doivent garantir que l'humidité causée par les exfiltrations ou les infiltrations ne sera pas une source habituelle de condensation sur les composants métalliques, avec risque de corrosion à la longue.

10.9 PRINCIPALES EXIGENCES DE CONSTRUCTION

En se basant sur l'examen qui précède des exigences de la science du bâtiment et sur d'autres considérations, voici les principales exigences à respecter pour la construction du système mural PBr-OA.

- La qualité de la construction du placage de brique, y compris le remplissage et le façonnage des joints, a une très grande importance pour obtenir une bonne première protection contre les infiltrations de pluie.
- Le solin doit être solidement fixé au mur de fond sur toute sa longueur, afin d'intercepter l'eau et de la rejeter hors de la lame d'air.
- En plus de bien installer le pare-air et le pare-vapeur sur la surface du mur, il faut veiller particulièrement à les prolonger de façon à couvrir les rails supérieur et inférieur, ainsi que les joints autour des fenêtres et aux extrémités des murs, afin de prévenir les dommages que pourraient causer la condensation et la formation de glace.
- Les matelas isolants installés entre les poteaux doivent être légèrement plus larges que l'espace d'un poteau à l'autre, afin de prévenir toute circulation d'air ou leur affaissement.
- Les espaces entre les poteaux jumelés ou à la jonction avec un autre mur à OA doivent être remplis d'isolant pendant la construction, afin de réduire au minimum les effets des ponts thermiques.
- Le travail des divers corps de métier doit être coordonné, afin de prévenir les dommages aux travaux déjà exécutés.
- Le taux minimal acceptable de galvanisation est G90.

RÉFÉRENCES

1 Drysdale, R. G. et M. J. Wilson, *A Report on Lateral Load and Rain Penetration Tests of Full Scale Brick Veneer/Steel Stud Walls*, Rapport présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, Ontario, juillet 1990.

2 Drysdale R. G. et A. Kluge, *A Report on Performance of Brick Veneer/Steel Stud Wall Systems Subject to Temperature, Air Pressure, and Vapour Pressure Differentials*, Rapport présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, Ontario, juin 1990.

3 Sasaki, J. R., *Thermal Performance of Exterior Steel-Stud Frame Walls*, Publication du CNRC n° 2226, DRB, 1972.

4 Drysdale, R. G. et S. Chidiac, *Defining Better Wall Systems*, Rapport présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, mai 1989.

5 Drysdale R. G. et A. Kluge, *A Report on Performance of Brick Veneer/Steel Stud Wall Systems Subject to Temperature, Air Pressure, and Vapour Pressure Differentials*, Rapport présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, Ontario, juin 1990.

6 Shaw, C. Y., *Essais de transparence à l'air des membranes de polyéthylène posées sur un mur à ossature de bois*, Mémoire technique n° 225, DRB/CNRC, Ottawa, janvier 1985, 25 pages.

7 Rousseau, M. Z., «Control of Surface Concealed Condensation,» *Building Science Insight '83*, DRB/CNRC, mai 1984.

PARTIE 4 SUJETS PARTICULIERS

CHAPITRE 11

RACCORDEMENT DU TOIT À UN MUR EN SURÉLÉVATION

11.1 INTRODUCTION

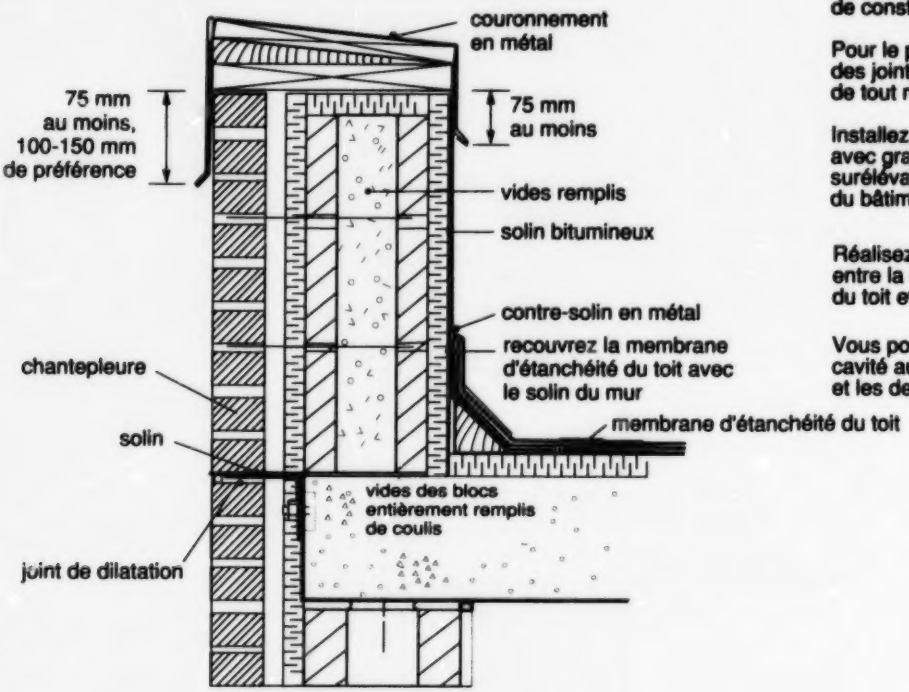
Les murs en surélévation sont l'une des parties du bâtiment les plus exposées, puisqu'ils subissent les rafales de vent et des températures extrêmes sur leurs deux faces. L'eau qui s'infiltre dans les murs en surélévation et qui coule dans les murs en dessous est à l'origine de problèmes d'humidité. La protection des murs en surélévation au moyen de solins et d'un couronnement a fait l'objet de nombreuses études depuis des années. On utilise toute une gamme de matériaux pour les solins, et il n'y a pas de conception standard. Certains concepteurs préfèrent omettre les murs en surélévation chaque fois qu'ils le peuvent et les remplacer, aux rives du toit, par des bordures bien protégées à l'aide de solins et d'un couronnement.

11.2 DÉTAILS

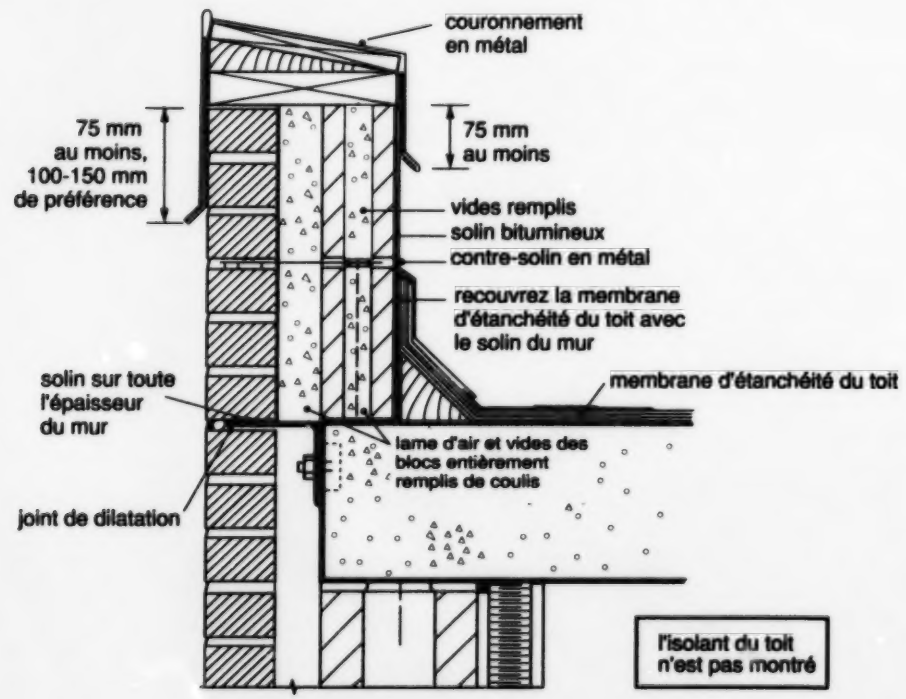
La norme CAN3-A371-M84 de l'ACNOR exige que les murs en surélévation soient construits de blocs solides ou de blocs creux remplis de mortier [1]. Ils doivent aussi avoir un solin sur toute l'épaisseur du mur et, s'ils ont moins de 300 mm d'épaisseur, un solin qui couvre toute la hauteur de la face arrière, ou 900 mm au moins au-dessus du toit. Ceci protège le mur en surélévation contre la neige accumulée par le vent. *Voir*, à la figure 11.1, l'illustration d'un mur en surélévation.

Au lieu d'un mur en surélévation, nombre de bâtiments résidentiels de grande hauteur utilisent aujourd'hui un couronnement en métal, comme illustré dans la figure 11.2. Facile à construire, cet élément de construction peut réaliser une continuité satisfaisante de l'enveloppe du bâtiment, entre le placage et le toit.

Raccordement du toit à un mur en surélévation



a) Raccordement isolé



b) Plein scellement au coulis

Importantes recommandations de construction:

Pour le placage, ménagez des joints de dilatation libres de tout mortier.

Installez le solin et le contre-solin avec grand soin, car le mur en surélévation est toujours l'élément du bâtiment le plus exposé.

Réalisez une continuité parfaite entre la membrane d'étanchéité du toit et le solin.

Vous pouvez éviter de sceller la cavité au coulis en isolant le dessus et les deux faces du mur d'appui.

Figure 11.1 Solins et couronnement d'un mur en surélévation

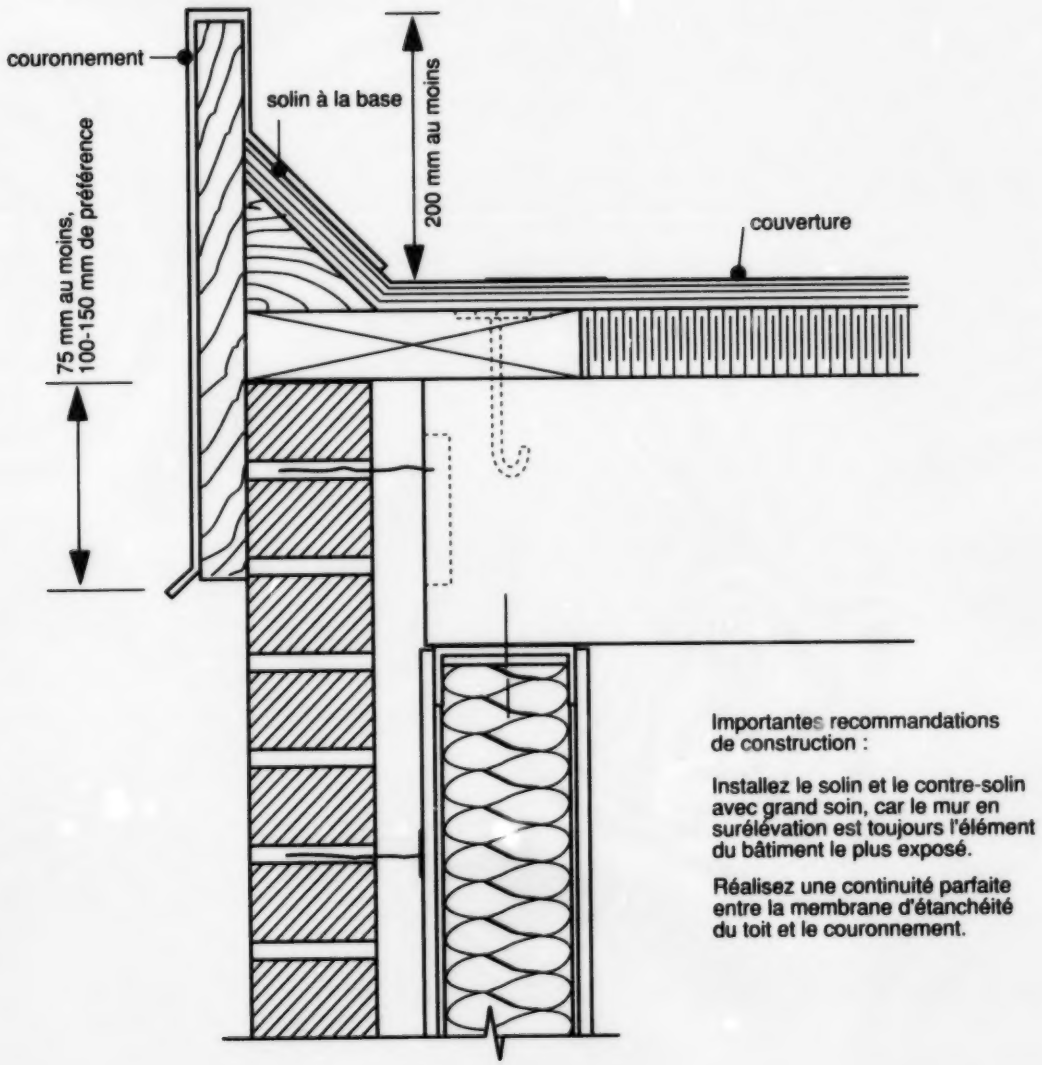


Figure 11.2 Bordure protégée par un chaperon

RÉFÉRENCE

1 Association canadienne de normalisation, CAN3-A371-M84, *Mise en œuvre de la maçonnerie pour les bâtiments*, ACNOR, Rexdale, 1984, 50 pages.

CHAPITRE 12

EFFLORESCENCE

12.1 INTRODUCTION

Bien des sortes de sels solubles dans l'eau sont présents dans le mortier et les éléments de maçonnerie. Lorsque, à l'encontre des bonnes pratiques de construction, la maçonnerie est en contact direct avec le sol ou que la protection contre l'humidité a été omise, ces sels peuvent aussi être transportés dans la maçonnerie par l'humidité en provenance du sol. Lorsque l'humidité qui transporte les sels s'évapore, ceux-ci se cristallisent et peuvent former un dépôt, habituellement blanchâtre, sur la face extérieure de la maçonnerie; ce phénomène s'appelle efflorescence.

Surtout dans les cas où l'efflorescence est relativement importante, comme on le voit dans les figures 12.1 et 12.2, la laideur de ces taches peut nuire à l'apparence de la propriété et à sa valeur de location, au détriment des propriétaires, bien sûr! Pour qu'il y ait efflorescence, il faut la présence d'humidité et de sels solubles dans l'eau. Les sections qui suivent traitent des sources des sels, des sources d'humidité et des mesures à prendre pour prévenir et éliminer l'efflorescence. D'autres ouvrages traitent des questions relatives à l'efflorescence.[1,2,3]

12.2 SOURCES DES SELS

Le sel peut provenir de bien des sources : les briques du placage, les blocs de béton du mur de fond, le mortier, l'eau souterraine et les polluants de l'atmosphère. En ce qui a trait au placage, les sources principales sont le mortier et les briques.

Dans le cas de l'efflorescence causée par le mortier, la suction qui se crée entre les briques fraîchement posées et le mortier mou fait passer dans les briques les sels solubles contenus dans le mortier. Les sels contenus dans le mortier peuvent provenir du ciment, du sable ou du chlorure de calcium ajouté à l'eau utilisée pour mélanger le mortier.

▼ *Figure12.1 L'efflorescence abondante qui apparaît sur le placage de brique est la preuve qu'une grande quantité d'humidité s'y est accumulée par suite de fuites d'air humide de l'intérieur ou d'infiltrations d'eau, ou des deux phénomènes à la fois*

Les hydroxydes de sodium et de potassium qu'on trouve couramment dans les ciments Portland peuvent causer une certaine quantité d'efflorescence dans tout ouvrage de maçonnerie récent, au cours de la première année. Des études ont montré que le fait d'augmenter la quantité de ciment Portland dans le mortier augmentait la quantité d'efflorescence. Et pourtant, il arrive qu'un mortier donné qui provoque une efflorescence marquée avec une sorte de brique n'en provoque pas avec une autre; par conséquent, l'efflorescence est aussi fonction du taux d'absorption d'eau par les éléments de maçonnerie. La présence de chaux dans le mortier diminue les possibilités d'efflorescence.

▼ *Figure 12.2 Vue en gros plan des dépôts de sel causés par l'efflorescence*

Étant donné que toute construction de mur à placage comporte des dispositifs de raccordement sujets à la corrosion sous l'effet du chlorure de calcium, il ne faut pas ajouter de ce produit dans l'eau de mixage. On élimine ainsi une source d'efflorescence.

La brique d'argile et la brique de béton peuvent toutes deux contenir des sels solubles susceptibles d'apparaître à la surface de la maçonnerie au fur et à mesure que l'humidité s'évapore. Il existe un essai standard qui permet de déterminer dans quelle mesure la brique contribue au phénomène d'efflorescence.[4]

Bien que les sels solubles puissent aussi être présents dans la maçonnerie de béton du mur de fond, le fait qu'une lame d'air sépare le mur de fond et le placage empêche que les sels passent directement de l'un à l'autre. Le mur de fond en MBé ne contribue donc pas sensiblement à l'efflorescence. D'un autre côté, les éléments muraux en béton préfabriqués et les éléments en pierre naturelle ou artificielle peuvent contribuer considérablement à l'efflorescence du placage adjacent. Ces matériaux peuvent contenir de grandes quantités de sels solubles qui peuvent être extraits, avec le temps, par l'action de l'humidité.

12.3 *SOURCES D'HUMIDITÉ*

À mesure qu'un ouvrage de maçonnerie récemment construit sèche, l'efflorescence peut apparaître pendant quelques semaines ou même quelques mois. Normalement, la pluie efface cette efflorescence, si bien qu'au bout d'une ou deux saisons, elle disparaît complètement. Mais si elle continue, il faut chercher la source de l'humidité et l'éliminer dans la mesure du possible.

La pluie, en particulier la pluie battante, peut déposer d'importantes quantités d'humidité dans les murs de maçonnerie. Quand la température est plus chaude, le taux d'évaporation de l'humidité dans le mur est relativement élevé, et les sels solubles sont alors déposés à l'intérieur du placage de brique plutôt qu'à la surface. Quand la température est plus froide, cependant, l'évaporation est plus lente et l'humidité chargée de sels solubles peut atteindre la surface du placage avant de s'évaporer. C'est pourquoi, dans le climat canadien, la fin de l'automne, l'hiver et le début du printemps représentent les principales saisons où les problèmes d'efflorescence se manifestent.

En plus le l'eau de pluie, les fuites d'air humide en provenance de l'intérieur du bâtiment peuvent être une source d'humidité. Les orifices dans le pare-air et le pare-vapeur permettent à l'air humide intérieur de sortir et de se condenser, pendant la saison froide, sur les composants du mur. Cette humidité peut alors s'infiltrer par capillarité jusqu'à la surface du placage et y déposer des sels solubles.

12.4 PRÉVENTION

Étant donné que des sels solubles en concentrations diverses sont contenus dans de nombreux matériaux utilisés en maçonnerie et que l'efflorescence n'existe pas sans humidité, il est important, dans toute construction neuve, de bien veiller à tous les aspects du choix des matériaux, de la conception, de la construction et de l'entretien, afin de réduire au minimum les risques d'efflorescence sur le bâtiment.

En ce qui a trait au choix des matériaux, des essais peuvent établir si les briques sont sujettes à l'efflorescence et si les mortiers contiennent des taux élevés d'alcalis solubles dans l'eau. L'utilisation de mortiers prémélangés n'est généralement pas recommandée, parce qu'on ne connaît pas leur composition ni les effets qu'ils peuvent avoir sur l'adhérence de la maçonnerie et le phénomène d'efflorescence.

Les conceptions utilisant un mur à placage et le principe de l'écran pare-pluie ouvert donnent une bonne construction, parce que l'humidité qui traverse le mince placage de brique peut être éliminée par ventilation et que le passage des solutions de sel directement du mur de fond au placage ne peut se faire. Les détails de conception qui empêchent l'humidité d'entrer dans le système mural et qui rejettent l'eau loin du sommet des murs et des autres surfaces murales sont donc très importants.

Parmi les détails de construction particulièrement critiques, mentionnons le pare-air et le pare-vapeur (*voir* chapitre 8), les chaperons, les couronnements, les appuis de fenêtre, les solins, les larmiers, les orifices de ventilation et les chantepleures; mentionnons aussi les joints qui doivent être calfeutrés, comme les joints de dilatation, et les joints qui doivent être complètement obturés, comme ceux autour des portes et des fenêtres.

Au cours de la construction, il faut :

- exécuter le travail de sorte soignée, de façon à obtenir le degré de prévention de l'efflorescence prévu dans la conception;
- protéger le sommet des murs en construction, afin de prévenir l'entrée d'humidité le plus possible; et
- bien entreposer les matériaux, afin de les mettre à l'abri de l'humidité causée par la pluie et la neige et de prévenir la détérioration par les sels.

En ce qui a trait aux mesures d'entretien propres à prévenir l'efflorescence, il faut inspecter l'enveloppe du bâtiment périodiquement, afin de détecter les endroits où la détérioration des matériaux permet à l'humidité de passer. L'entretien méticuleux des joints calfeutrés et des produits d'étanchéité est d'une importance capitale.

12.5 ÉLIMINATION

Il arrive souvent que l'efflorescence disparaît à la suite de plusieurs averses qui ont rincé les sels solubles déposés à la surface de la maçonnerie. Si elle continue ou si l'on décide de ne pas attendre que la pluie fasse son travail, on peut employer, pour l'éliminer, la méthode courante qui consiste à gratter le sel à l'aide d'une brosse, tout en rinçant bien la surface du mur. On se sert parfois d'une solution d'acide chlorhydrique pour dissoudre les sels. Avant de procéder à un nettoyage de ce genre, il faut se rappeler deux points importants :

- le travail doit se faire pendant la saison chaude, afin que l'humidité absorbée par la maçonnerie au cours de l'arrosage du mur puisse s'évaporer rapidement, sans déposer d'autres sels à la surface du mur; et
- la méthode utilisant une solution d'acide chlorhydrique doit comporter un arrosage abondant avant et après l'application de la solution. Ceci réduit au minimum la rétention d'acide dans le placage, où celle-ci pourrait provoquer la corrosion de l'acier encastré dans le mortier.

Lorsque l'efflorescence est causée par une présence anormale d'eau dans le mur, à cause de gouttières et de gargouilles mal placées, de larmiers et de chaperons qui manquent, ou de produit de calfeutrage détérioré, ces défauts doivent d'abord être corrigés. L'efflorescence causée par l'air qui s'échappe du bâtiment par les fuites dans le pare-air et le pare-vapeur est particulièrement difficile et coûteuse à éliminer. Avant de déterminer les mesures à prendre pour corriger la situation, il est nécessaire de procéder à une évaluation soignée des détails de conception et de leur exécution sur les lieux, surtout autour des ouvertures pratiquées dans le mur.

Un certain nombre de produits de traitement de la surface existent sur le marché pour prévenir l'efflorescence. Essentiellement, ces traitements donnent à la couche la plus externe de la maçonnerie divers degrés d'étanchéité à l'eau. Bien que ces traitements suppriment l'efflorescence qui s'est formée sur la surface extérieure, en partie parce que moins d'humidité entre dans le mur et en partie parce que l'évaporation de l'eau contenant les sels solubles se produit juste derrière la couche de surface qui a été traitée, de sérieux problèmes peuvent quand même surgir. Comme les sels se cristallisent et s'accumulent derrière cette couche de surface, des pressions peuvent s'y exercer et provoquer l'épaufrure de la brique. Toutefois, ces traitements peuvent donner de bons résultats, s'ils sont appliqués conjointement avec d'autres mesures visant à limiter la quantité d'humidité qui entre dans le placage de brique.

L'utilisation d'enduits de surface peuvent aussi nuire au comportement du placage dans les cycles de gel/dégel (*voir* section 14.4).

RÉFÉRENCES

1 Brick Institute of America, *Efflorescence, Causes and Mechanisms*, Technical Notes on Brick Construction No. 23, mai 1985.

2 Brick Institute of America, *Efflorescence, Prevention and Control*, Technical Notes on Brick Construction No. 23A, juin 1985.

3 Ritchie, T., *Efflorescence*, Digeste de la construction au Canada n° 2, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches, Ottawa, février 1960.

4 Institut canadien de la tôle d'acier pour le bâtiment, *Lightweight Steel Framing Manual*, ICTAB 50V-1987, août 1987, 23 pages.

CHAPITRE 13

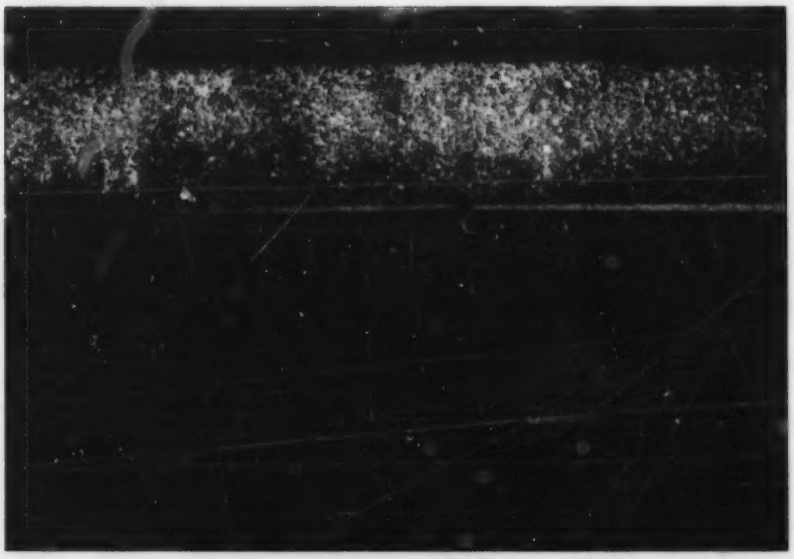
RÉSISTANCE AU GEL/DÉGEL

13.1 INTRODUCTION

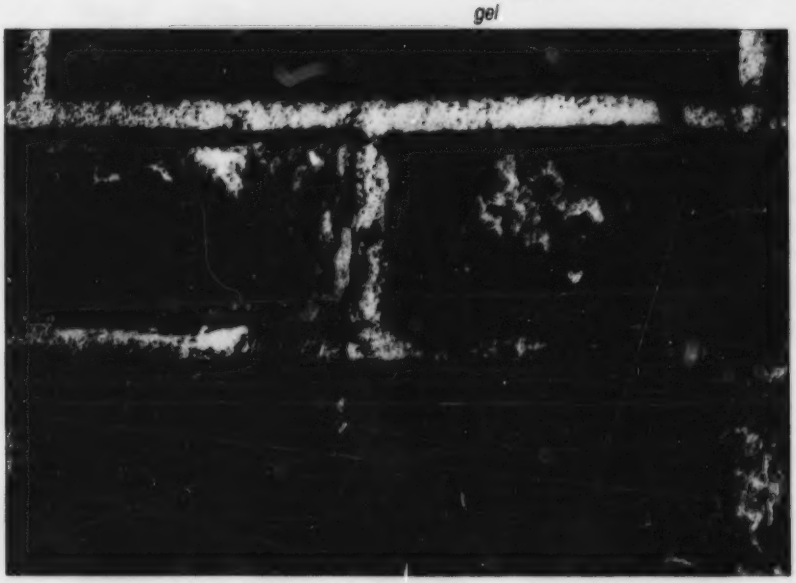
Bien que l'une des qualités remarquables de la maçonnerie de brique soit sa durabilité, il existe des briques dont la résistance aux cycles de gel/dégel n'est pas suffisante pour les conditions environnementales relativement difficiles du climat canadien. Les épaufrures qui en résultent, comme illustré dans les figures 13.1 et 13.2, nuisent à l'apparence du bâtiment et coûtent cher à réparer.

La résistance au gel/dégel n'est pas une propriété définie d'un matériau poreux, comme la solidité et la couleur, par exemple. L'épaufrure d'une brique sous l'effet du gel/dégel dépend de sa structure interne, de l'intensité du gel et de l'épaisseur du matériau; elle doit en outre être saturée, presque à la limite de sa capacité d'absorption. On sait qu'on ne peut se fier à des critères standard tels que la solidité, la capacité d'absorption et le coefficient de saturation pour juger de sa résistance au gel/dégel; l'utilisation de ces critères permet, en effet, d'accepter jusqu'à 20 p. 100 des briques qui ne passent pas l'essai de gel/dégel et de rejeter environ 30 p. 100 de celles qui le passent. Les briques d'argile réfractaires sont habituellement assez durables, mais même une légère différence de la température de cuisson peut en changer la résistance au gel/dégel.

Étant donné que les briques vernissées ont une face pratiquement imperméable, il faut faire particulièrement attention à la conception et à la construction des murs incorporant ce matériau, afin d'en prévenir l'épaufrure sous l'effet des cycles de gel/dégel. L'humidité qui peut pénétrer dans un ouvrage de brique vernissée par des joints mal remplis et des fissures minuscules peut demeurer emprisonnée derrière la surface vernissée et en provoquer l'épaufrure au moment du gel. Ce type de brique ayant connu beaucoup trop de problèmes en pratique, son utilisation sur les bâtiments de grande hauteur est à déconseiller dans nombre de régions du Canada.



▼ *Figure 13.1 Epaufrure avancée d'un placage de brique d'argile sensible au gel*



▼ *Figure 13.2 Vue en gros plan d'épaufrures sur une brique d'argile peu résistante au gel/dégel*

Les explications qui suivent ont trait uniquement aux placages de brique d'argile, parce que ce type de brique est couramment utilisé dans la construction de bâtiments de grande hauteur et que les placages de brique de béton sont moins susceptibles de connaître des problèmes de durabilité causés par le phénomène de gel/dégel.

13.2 CRITÈRES DÉFINIS PAR LE CODE

La norme ACNOR A82.1-M87[1] décrit les exigences de qualité de la brique d'après un indice de température canadien qui, pour chaque municipalité, est le produit du nombre moyen annuel de jours de gel et du nombre moyen annuel de jours de pluies hivernales. En bref, la norme exige qu'on utilise une qualité de brique SW (fortes intempéries) pour la construction de placages partout au Canada. Pour la brique SW, la norme permet qu'on l'accepte si le coefficient de saturation moyen est inférieur à 0,78, la résistance à la compression moyenne est supérieure à 20,7 MPa, et le taux d'absorption moyen d'eau bouillante pendant une période maximale de cinq heures est inférieur à 17 p. 100. Il convient de noter que la valeur maximale de 0,78 pour le coefficient de saturation est une exigence nouvelle, considérablement plus sévère que la valeur de 0,88 qui était la règle dans la précédente édition de la norme. Bien que le changement ait été fait en vue de réduire le nombre de cas d'ouvrages de briques endommagés par le gel/dégel, les critères de coefficient de saturation, de résistance à la compression et d'absorption ne peuvent que servir d'indicateurs de ce que sera le comportement de la brique une fois mise en place.

Il importe de noter qu'on peut laisser tomber les exigences relatives au coefficient de saturation et à l'absorption d'eau bouillante pendant une période de cinq heures, lorsque la brique a réussi l'essai de 50 cycles de gel/dégel sans aucun bris et sans aucune perte de poids supérieure à 0,5 p. 100. Bien que l'essai de gel/dégel soit considéré comme un indicateur plus fiable du comportement de la brique en situation, il ne fait qu'indiquer si une brique mouillée jusqu'à un certain degré de saturation et gelée à une certaine température pendant un nombre arbitraire de cycles résistera ou non. Il se peut que les conditions en situation imposent de fait un bien plus grand nombre de cycles de gel/dégel, dans des conditions climatiques peut-être pires que celles exigées pour l'essai de gel/dégel standard.

13.3 TRAVAUX DE RECHERCHE RÉCENTS

En plus du coefficient de saturation, qui est le rapport entre l'absorption d'eau froide en 24 heures et l'absorption d'eau bouillante en cinq heures, les travaux de recherche récents indiquent que la surface spécifique et la structure des pores de chaque type de brique d'argile ont une influence appréciable sur sa durabilité.[2,3,4]

Une étude, menée par la Division de la recherche en bâtiment (DRB) et portant sur 27 briques de comportement connu en situation réelle de gel/dégel, indique qu'il existe une corrélation entre la surface spécifique et le comportement. Cette étude prouve que les briques insuffisamment cuites présentent des surfaces spécifiques relativement grandes et qu'elles risquent, par conséquent, de ne pas durer longtemps dans le dur climat canadien.

Une étude de la répartition des dimensions des pores dans la brique indique que les pores peuvent se classer comme grossiers, intermédiaires et petits. Les pores grossiers (plus grands qu'un micron) sont plus durables parce que, bien qu'ils absorbent facilement l'eau, ils sèchent aussi rapidement. Les pores intermédiaires (entre 0,1 et 1 micron) sont très susceptibles de causer des dommages sous l'effet du gel/dégel, parce qu'ils sèchent plus lentement que les pores grossiers et que, en situation, ils sont souvent saturés d'eau. Les petits pores n'absorbent pas l'eau facilement, ne sèchent pas facilement et ne gèlent qu'à des températures très basses; ils ne sont donc pas une cause importante de l'endommagement des briques par le phénomène de gel/dégel. La principale cause de dommage dû au gel/dégel semble donc être les pores intermédiaires et, en particulier, le pourcentage du volume de tels pores par rapport au volume des pores des deux autres dimensions; si l'évaluation de la porosité globale indique une prépondérance de pores intermédiaires, il est probable que la brique ne durera pas longtemps.

13.4 RÈGLES DE CONDUITE

Afin de réduire au minimum les risques de problèmes de durabilité, voici quelques recommandations utiles :

- vérifiez le comportement effectif de la brique sur une période de cinq ans au moins, dans diverses conditions d'exposition;
- prévenez l'absorption d'humidité par la brique au moyen d'une conception des détails et d'une exécution des travaux soignées, et au moyen de mesures d'entretien périodiques; et
- pour les travaux particulièrement délicats, faites l'essai de la brique, non seulement par rapport aux exigences de la norme A82.1-M87 de l'ACNOR en matière de durabilité dans des conditions de gel/dégel, mais aussi du point de vue des exigences non précisées dans la norme et ayant trait à la surface spécifique et à la structure des pores.

Il importe de noter que les enduits appliqués en surface pour prévenir l'absorption d'humidité par le placage peuvent, dans une certaine mesure, agir comme un pare-vapeur et emprisonner l'humidité dans la brique, créant ainsi des conditions susceptibles d'occasionner l'endommagement des briques sous l'effet du gel/dégel.

RÉFÉRENCES

1 Association canadienne de normalisation, CAN/CSA-A82.1M87, *Burned Clay Brick (Solid Masonry Units Made from Clay or Shale)*, ACNOR, Rexdale, 1987, 17 pages.

2 Crooks, R. W., C. E. Kilgour et D. N. Winslow, *Pore Structure and Durability of Bricks*, Proceedings of Fourth Canadian Masonry Symposium, University of New Brunswick, juin 1986.

3 Kung, J. H., *Frost Durability of Clay Bricks - Evaluation Criteria and Quality Control*, Proceedings No. 8, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches du Canada, CNRC 23294, avril 1984.

4 Robinson, G. C., "The Relationship Between Pore Structure and Durability of Brick", *Ceramic Bulletin*, vol. 63, nº 2, 1984, pp. 295-300.

CHAPITRE 14

ENDUITS PROTECTEURS

14.1 INTRODUCTION

La raison principale d'appliquer un enduit protecteur à la surface des ouvrages de maçonnerie est d'aider à y prévenir l'absorption d'humidité. Ces enduits peuvent se classer en deux catégories : ceux à base de solvants et ceux à base d'eau. Les premiers contiennent des solvants organiques ou sont solubles dans de tels solvants, tandis que les seconds se dissolvent ou sont dispersés dans l'eau. Pour qu'un enduit protecteur ait un bon rendement, il faut d'abord évaluer correctement la cause de la dégradation du mur et choisir ensuite le produit qui convient exactement au problème en cause et aux propriétés des matériaux de maçonnerie.

Pour choisir un enduit protecteur et savoir s'il fera l'affaire, il faut aussi tenir compte des conditions climatiques et environnementales; en d'autres termes, il se peut qu'un type d'enduit qui a donné de bons résultats dans une région tempérée comme la Colombie-Britannique ne convienne pas du tout dans une région nordique.

14.2 PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX UTILISÉS EN MAÇONNERIE

Lorsqu'on applique un enduit protecteur à un ouvrage de maçonnerie, les propriétés des matériaux utilisés, telles que la porosité, la rugosité, l'alcalinité et la teneur en sels solubles, sont de toute première importance.

Porosité - Alors que la brique d'argile est poreuse aux petites molécules d'eau, les enduits protecteurs sont généralement constitués de molécules beaucoup plus grandes. Il s'ensuit que certaines briques plus denses ne se laissent pas pénétrer par l'enduit protecteur.

Rugosité de la surface - Étant donné que les constitutions chimiques du substrat des éléments de maçonnerie et des enduits protecteurs diffèrent radicalement, la liaison chimique entre les deux est faible et leur adhérence dépend surtout de phénomènes mécaniques. Les briques d'argile, à l'exception des briques vernissées, ont une surface passablement rugueuse où l'enduit adhère bien.

Alcalinité - Le principal problème des enduits protecteurs, causé par l'alcalinité de la maçonnerie, est la réaction chimique entre l'enduit protecteur à base d'huile et un alcali, réaction qu'on appelle saponification. À moins d'utiliser un produit non saponifiable, l'enduit protecteur peut, une fois posé, devenir mou et collant. Les briques d'argile étant neutres normalement, l'alcalinité du placage proviendrait du mortier.

Teneur en sels solubles - Comme expliqué dans la chapitre 12, les sels solubles peuvent causer l'efflorescence. Celle-ci à son tour peut causer la défaillance de l'enduit protecteur, en détruisant mécaniquement la pellicule de celui-ci; la force exercée pendant la cristallisation des sels est assez grande, en effet, pour vaincre l'adhérence de l'enduit au substrat. Donc, si l'efflorescence apparaît, il est important de remédier à la source d'humidité et non de compter sur un enduit protecteur pour remplir une fonction miracle pour laquelle il n'est pas conçu.

14.3 TYPES D'ENDUIT PROTECTEUR

Il existe un grand nombre d'enduits protecteurs à base de solvants ou à base d'eau, entre autres, des peintures au latex, des enduits protecteurs perméables à l'air appliqués en couche épaisse, et des silicones.

Peintures au latex - Les peintures au latex à base d'eau, qui sont passablement perméables à la vapeur d'eau, ont donné de bons résultats sur les surfaces d'ouvrages de maçonnerie. L'application d'une nouvelle couche doit se faire avant que le farinage ne soit trop prononcé, sinon la peinture pourrait mal adhérer à la surface.

▼ *Figure 14.1 Défaillance de l'enduit protecteur à cause d'une accumulation excessive d'humidité derrière l'enduit*

Enduits protecteurs «perméables à l'air» et appliqués en couche épaisse - Ce type d'enduit protecteur a été utilisé abondamment, parce qu'il peut cacher les imperfections mineures, telles que les fissures très fines, et parce que sa perméabilité à la vapeur d'eau, bien que normalement faible, permet quand même à une certaine quantité d'humidité du mur de s'échapper. Ces enduits protecteurs peuvent être à base de solvants ou à base d'eau; généralement, ils contiennent aussi une grande quantité de pigments mélangés avec une faible quantité de liant. Étant donné que l'adhérence à la brique est surtout mécanique, il faut que celle-ci présente une surface assez rugueuse.

Silicones - Deux types de silicone ont été utilisés sur les ouvrages de maçonnerie, l'un à base de solvants, l'autre à base d'eau. Tous les deux modifient la surface de la maçonnerie perméable au point de la rendre hydrofuge. Le silicone à base de solvants est une résine de silicone qui est surtout appliquée aux surfaces murales extérieures; après que le produit a pénétré dans les pores jusqu'à une certaine profondeur, le silicone reste fixé là, une fois le solvant évaporé. Le silicone à base d'eau est un silicate de sodium méthylique qui est normalement appliqué, en usine, aux éléments de maçonnerie qui présentent un taux d'absorption anormalement élevé. Une fois appliqué, le silicate est transformé, grâce à son exposition au dioxyde de carbone de l'atmosphère, en une résine insoluble dans l'eau.

14.4 RÈGLES DE CONDUITE

Chaque fois qu'on songe à un enduit protecteur pour une surface de maçonnerie, il faut bien se rappeler que l'enduit ne tiendra pas longtemps si de grandes quantités d'humidité peuvent pénétrer dans la maçonnerie par suite de défauts comme des fissures ou des joints non remplis, d'une mauvaise conception des détails, ou de fuites d'air humide. Avec l'accumulation de l'humidité derrière l'enduit protecteur, celui-ci perd sa propriété adhésive. Même les enduits dits «perméables» à l'air, y compris les silicones, ne sont pas conçus pour prévenir le passage de grandes quantités d'humidité. Dans des conditions de gel/dégel en particulier, une maçonnerie hautement saturée peut être endommagée par la délamination de la surface, enduit protecteur inclus. Les figures 14.1 et 14.2 illustrent des cas de défaillance de l'enduit protecteur.

Voici d'autres recommandations utiles :

- quand on songe à utiliser un enduit protecteur donné, il faut vérifier le comportement qu'il a eu sur des ouvrages de maçonnerie semblables, dans la même région géographique et les mêmes conditions environnementales que celles de la construction projetée;
- en appliquant un enduit protecteur, il est important de suivre exactement les instructions du fabricant, sinon son comportement pourrait être sérieusement diminué; et
- étant donné que la durée utile d'un enduit protecteur dépend de facteurs tels que sa composition, le type de substrat, l'endroit géographique et les conditions d'exposition, il est bon d'en vérifier le comportement périodiquement. L'application d'une deuxième couche est habituellement nécessaire tous les cinq à dix ans.

Ashton[1] traite au long des questions relatives aux enduits protecteurs appliqués sur des surfaces de maçonnerie.

▼ *Figure14.2 Défaillance de l'enduit protecteur et de la brique; l'enduit avait été appliqué à l'origine pour améliorer la piètre résistance de la brique au gel/dégel*

RÉFÉRENCE

1 Ashton, H. E., *Coatings for Masonry Surfaces*, Digeste de la construction au Canada n° 131, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches, Ottawa, novembre 1970.

CHAPITRE 15

ENTRETIEN ET RÉPARATION

15.1 INSPECTIONS APRÈS LA CONSTRUCTION

Tous les matériaux de construction se détériorent dans une certaine mesure avec le temps, à cause des intempéries, du vieillissement et d'autres effets environnementaux. En ce qui a trait à la durabilité des systèmes muraux PBr-MBé et PBr-OA, des joints mal entretenus peuvent, par exemple, permettre des infiltrations excessives d'humidité. Étant donné que la durée de la présence d'humidité influe grandement sur le taux de corrosion de l'acier, la présence fréquente de quantités excessives d'humidité peut entraîner la corrosion prématurée des composants en acier de ces systèmes muraux. Dans d'autres cas, la dégradation du revêtement extérieur peut être causée par des problèmes de matériaux, tels que la résistance insatisfaisante de la brique au gel/dégel, par une piètre conception des détails tels que l'absence de joints de dilatation, ou par de mauvaises méthodes de construction telles que l'ancrage défectueux d'une cornière d'appui.

Étant donné que la plupart des problèmes du revêtement extérieur ne deviennent apparents qu'un certain temps après la construction et que, de plus, des problèmes peu importants à l'origine peuvent aboutir à de sérieuses dégradations susceptibles de mettre la sécurité du public en danger, les propriétaires doivent reconnaître la nécessité de procéder périodiquement, après la construction, à l'inspection de l'enveloppe du bâtiment.

C'est une pratique sage aussi, d'un point de vue économique, de procéder périodiquement à l'entretien et aux réparations mineures qui s'imposent, plutôt que de laisser le bâtiment se détériorer jusqu'à ce que de grosses réparations ou même le remplacement du revêtement extérieur deviennent nécessaires. Les figures 15.1 a) et b) illustrent ce point schématiquement.

Comme on le voit dans la figure 15.1 a), l'état d'un revêtement extérieur diminue avec le temps, très lentement au début, mais à un rythme sans cesse croissant par la suite. Si l'on suppose que le point B sur la courbe représente un état qui se situe entre les situations comportant des problèmes d'utilisation et les situations comportant des problèmes de sécurité, c'est-à-dire qu'aux états au-dessus de B, il n'y a pas de problème de sécurité, il est évident que les mesures périodiques d'entretien et de réparations mineures s'imposent avant d'avoir atteint t_b. Si ces mesures étaient prises alors que l'état du revêtement extérieur se situe au point A dans la figure 15.1 a), les problèmes d'utilisation seraient corrigés de telle sorte que, une fois rendu au temps t_a, le revêtement serait encore en parfait état, comme lors du parachèvement de la construction. Le cycle de détérioration se répéterait ensuite jusqu'au moment (t_c) où l'on procéderait de nouveau à l'entretien ou aux réparations mineures nécessités par le revêtement extérieur.

La figure 15.1 b) montre que les coûts d'entretien et de réparation augmentent sensiblement au fur et à mesure que l'état du revêtement extérieur se détériore. La courbe montre, en particulier, que les coûts sont considérables dès que commencent les problèmes de sécurité et qu'il est économiquement avantageux d'engager périodiquement des fonds pour l'entretien et les réparations mineures, plutôt que d'être pris à débourser des montants beaucoup plus importants, une fois que le revêtement extérieur s'est gravement détérioré.

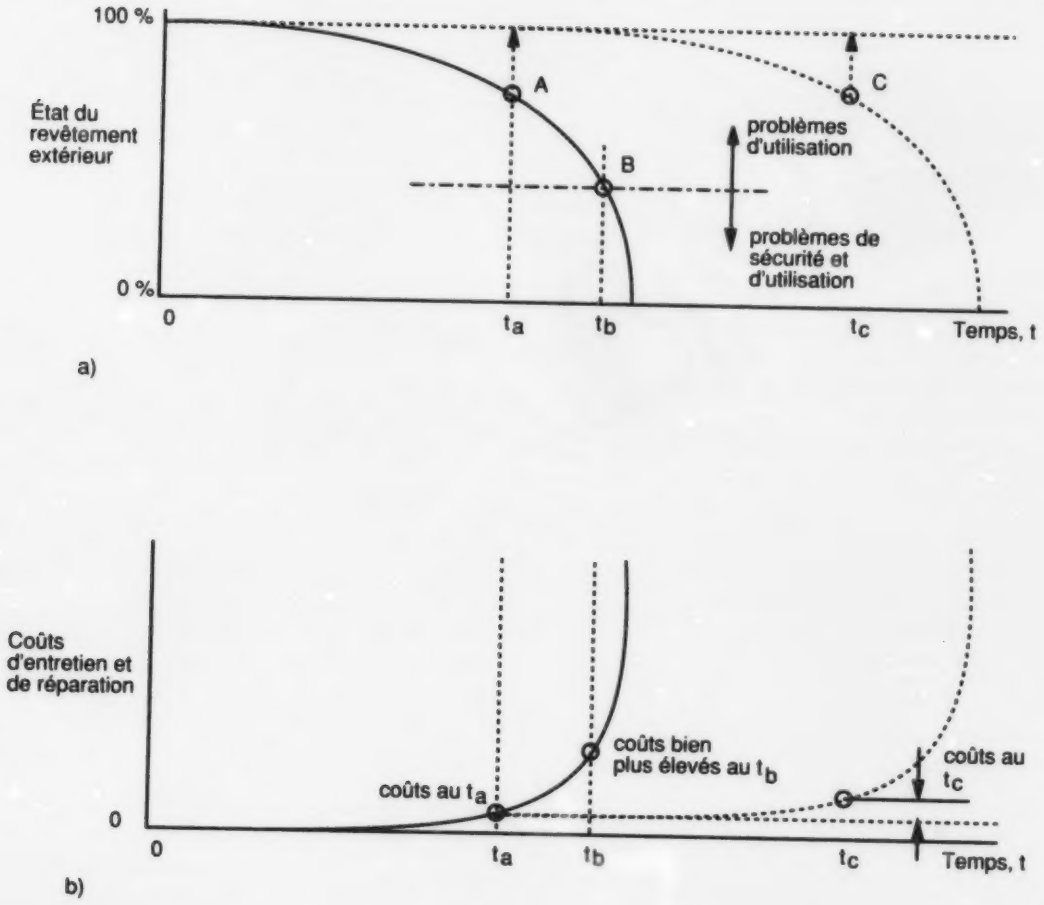


Figure 15.1 Graphique de l'état et des coûts d'entretien et de réparation, selon le temps, du revêtement extérieur

15.2 *FRÉQUENCE ET NATURE DES INSPECTIONS*

Des inspections périodiques doivent être effectuées après la construction, tous les deux à cinq ans, selon ce qu'exigent l'expérience acquise dans la région climatique du pays et le comportement passé du revêtement extérieur raccordé au mur de fond particulier dont il est question. Ces inspections doivent être effectuées par un professionnel qualifié; son œil exercé et son expérience sont irremplaçables pour déterminer le niveau d'inspection qui s'impose. Bien qu'un examen visuel, au besoin à l'aide de jumelles, de l'enveloppe extérieure du bâtiment suffise pour certaines constructions, la plupart des bâtiments où apparaît une certaine dégradation du revêtement extérieur nécessitent un examen beaucoup plus approfondi de leur état.

L'examen de l'état du bâtiment peut comprendre l'inspection en gros plan de certaines parties et de certains composants du bâtiment. Généralement, ces inspections s'effectuent en partie de l'intérieur et en partie debout sur un échafaudage volant. Lorsqu'il s'agit d'examiner l'intérieur d'un système mural à placage, l'utilisation d'un cavitoscope à fibres optiques («borescope») s'est avérée utile. Après avoir percé un trou d'environ 12 à 20 mm de diamètre à travers le mur, l'instrument y est inséré pour scruter l'intérieur du mur. Dans un mur à placage, un examen à l'aide d'un cavitoscope permet donc de voir dans quel état sont les attaches qui traversent la lame d'air. Et si l'on fixe un appareil-photo à l'extrémité de la tige de l'instrument, on peut prendre une photographie de l'état du mur en dedans.

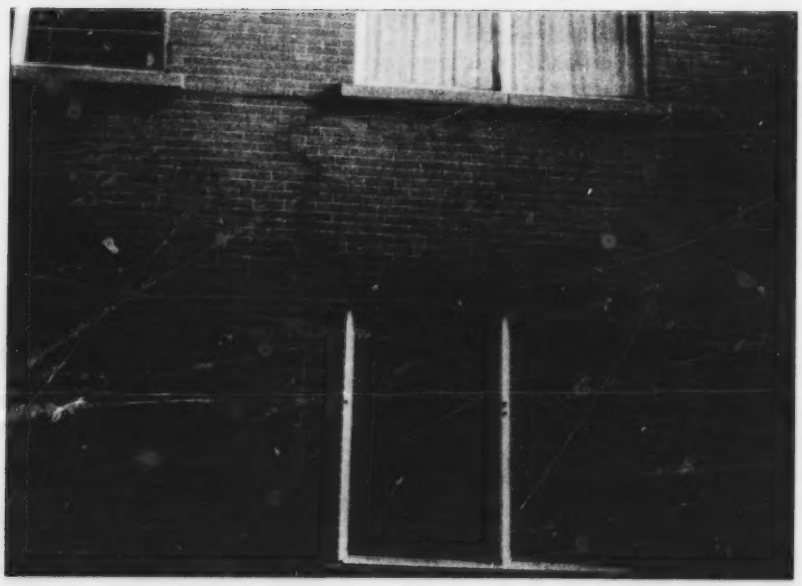
Bien que le cavitoscope puisse aider à évaluer l'état intérieur du mur, il est fréquemment nécessaire de pratiquer d'autres ouvertures, à partir de l'intérieur du bâtiment ou de l'extérieur, afin d'inspecter certaines parties cachées du système mural. L'emplacement de ces ouvertures est habituellement choisi avec grand soin afin de recueillir le plus de données possible, tout en réduisant au minimum les problèmes éventuels d'esthétique ou de comportement du revêtement extérieur, une fois les ouvertures refermées. Lorsqu'il faut couper la maçonnerie de brique pour effectuer le travail d'inspection et qu'on ne peut trouver des briques semblables pour refermer l'ouverture pratiquée, on peut se servir de briques enlevées de certains endroits moins visibles du même bâtiment, comme cela s'est déjà fait à la satisfaction du propriétaire. Lorsqu'on referme les ouvertures pratiquées pour l'inspection, il faut faire particulièrement attention à bien refaire la continuité du pare-air et du pare-vapeur.

15.3 CAUSES DE DÉGRADATION

Étant donné que les systèmes muraux PBr-MBé et PBr-OA nécessitent une grande variété de matériaux, de nombreuses décisions de conception et plusieurs étapes de construction dans des conditions climatiques différentes, la dégradation du revêtement extérieur peut avoir bien des causes.

Celles-ci sont généralement reliées à des manques, dans :

- les matériaux;
- la conception;
- les méthodes de construction; et
- l'entretien.



▼ *Figure 15.2 Fissuration verticale du placage de brique, due à l'absence de joints verticaux permettant les mouvements horizontaux*

En pratique, la dégradation est rarement causée par un seul défaut; elle est plutôt le résultat de plusieurs défauts qui se conjuguent. Pour le professionnel responsable de l'inspection des systèmes muraux PBr-MBé ou PBr-OA après la construction, il peut être utile de classer les dégradations du placage de brique en deux grandes catégories :

1. les dégradations légères associées surtout à des problèmes mineurs d'utilisation et d'apparence; et
2. les dégradations graves associées à des problèmes de sécurité ou à de sérieux problèmes d'utilisation et d'apparence.

Les deux sections qui suivent donnent un aperçu de dégradations typiques, légères et graves respectivement.

15.4 SIGNES DE DÉGRADATION LÉGÈRE

L'expérience montre que, dans les conditions climatiques du Canada, l'enveloppe de presque tous les bâtiments manifeste des signes de dégradation légère après quelques années. Alors que cette affirmation vaut pour tous les types d'enveloppe de bâtiment, les observations qui suivent s'appliquent spécifiquement aux systèmes muraux PBr-MBé et PBr-OA. Les inspections et les mesures d'entretien périodiques permettent de maîtriser les problèmes de dégradation légère associés à l'utilisation et à l'apparence du système mural et de les empêcher de devenir des problèmes graves de sécurité. Les cas de dégradation légère examinés ci-après constituent, non pas une liste exhaustive de tous les cas possibles, mais simplement un certain nombre de cas bien représentatifs de cette catégorie.

FISSURES VERTICALES DANS LE PLACAGE DE BRIQUE

Ces fissures indiquent généralement, soit l'absence de joints de dilatation suffisants (joints verticaux), soit la présence d'importantes charges de compression dans le placage. Le premier défaut, qui est illustré dans la figure 15.2, peut se corriger en découpant des joints de retrait dans l'alignement des fissures, en remplaçant les briques sérieusement fissurées ou épaufrées, et en obturant le joint au moyen d'un produit d'étanchéité posé sur un support compressible à l'intérieur du joint. La simple obturation de la fissure au moyen d'un produit de calfeutrage ne tiendra pas longtemps, parce qu'il est impossible de faire adhérer parfaitement le produit aux deux côtés de la fissure et que, souvent, celle-ci est trop étroite pour que le produit de calfeutrage puisse y pénétrer.

L'accumulation de fortes charges de compression dans le placage est généralement causée par l'absence de joints de dilatation horizontaux vis-à-vis des cornières d'appui. Notez que, même s'il semble y avoir un joint calfeutré et mou, il est prudent, si des fissures verticales apparaissent à la surface du placage, de vérifier l'arrière du produit de calfeutrage; il est arrivé trop souvent, en effet, que l'espace de dilatation derrière le produit de calfeutrage avait été rempli de mortier. Dans ce dernier cas, la dégradation se manifeste normalement par une fissure verticale près des changements de direction du mur, comme on le voit dans la figure 15.3, et par quelques épaufrures de-ci de-là dans les rangs de briques immédiatement au-dessus et au-dessous de la cornière d'appui, comme illustré dans la figure 15.4.

Si des panneaux de placage entiers de la hauteur d'un étage accusent un certain bombement, il y a là une dégradation grave, dont nous parlerons dans la section 15.5.

▼ *Figure 15.3 Fissuration verticale due à l'accumulation de contraintes élevées dans le placage de brique, causée principalement par l'absence de joints de dilatation horizontaux*

Étant donné que les efforts de compression qui s'exercent dans le placage à cause de l'absence de joints de dilatation horizontaux augmentent d'intensité vers le bas du bâtiment, toute inspection de la dégradation qui nécessite l'enlèvement des briques endommagées doit commencer par le haut du bâtiment. Si l'observation minutieuse de l'état du placage révèle que le seul défaut est l'absence de joints de dilatation vis-à-vis des cornières d'appui et que les contraintes accumulées ne sont pas très élevées, les travaux de réparation consistent à pratiquer des joints de dilatation à la hauteur des cornières d'appui et à remplacer les briques qui présentent des épaufrures et des fissures.

▼ *Figure 15.4 Épaufrure de la brique due aux contraintes élevées créées par la présence de mortier dans le joint de dilatation situé vis-à-vis de la cornière d'appui*

Il n'est pas rare, cependant, qu'on rencontre d'autres défauts au cours de l'inspection, tels que l'ancrage insuffisant d'une cornière d'appui ou l'absence de certaines attaches; nous parlerons de ces dégradations graves dans la section 15.5.

FISSURES EN GRADINS DANS LE PLACAGE DE BRIQUE D'UN BÂTIMENT DE FAIBLE HAUTEUR

Les fissures de ce genre peuvent être associées à des mouvements de la fondation. Lorsque ces mouvements sont causés par le tassement du sol et que la répétition de ce même phénomène semble très peu probable, la réparation du placage fissuré peut être entreprise sans plus attendre. Par contre, des mouvements répétés de la fondation, par exemple, sous l'effet des cycles de gel/dégel, nécessitent évidemment des mesures correctrices spéciales avant de procéder à la réparation du mur dégradé. Lorsque la profondeur de pénétration du gel occasionne un problème de mouvement de la fondation, l'installation de matériaux isolants horizontalement dans le sol adjacent s'est avérée une solution économique.

ENTRÉE D'HUMIDITÉ AU NIVEAU DE LA DALLE DE PLANCHER

Lorsque la dalle de béton armé se prolonge jusqu'à l'extérieur, l'humidité peut facilement pénétrer dans le bâtiment. Le solin installé sous le mur au-dessus de la dalle est alors indispensable pour rejeter hors de la lame d'air toute l'humidité qui s'y est infiltrée. Mais les imperfections inévitables qui apparaissent dans la continuité du solin et dans l'alignement précis qui doit exister entre la rive extérieure de la dalle et le larmier du solin peuvent donner lieu à des infiltrations d'humidité au niveau du plancher. La situation s'aggrave lorsque des flexions et des mouvements différentiels se produisent entre la dalle de plancher et le revêtement extérieur; ce qui peut provoquer la fissuration du joint de mortier, qui laissera alors l'eau passer facilement.

Les mouvements différentiels et les imperfections de construction présentes entre la dalle et le revêtement extérieur peuvent aussi permettre à l'humidité de s'infiltrer sous la dalle et de provoquer des taches et des égouttements aux plafonds. Bien que la solution courante et la plus économique consiste à calfeutrer les fissures, ce n'est là qu'une solution à court terme qu'il faut répéter sans cesse à l'occasion de l'entretien périodique et des réparations d'urgence. L'expérience prouve que, dans les conditions climatiques du Canada, les murs à placage traversés par la dalle de plancher nécessitent de fréquents travaux d'entretien.

▼ *Figure 15.5 Taches d'efflorescence dues au manque de continuité du pare-air et du pare-vapeur autour de la fenêtre*

TACHES D'EFFLORESCENCE

La présence d'efflorescence, comme illustré dans la figure 15.5, est nécessairement le signe d'infiltrations ou d'exfiltrations d'humidité. Lorsque ce défaut persiste d'année en année, il peut nuire aux possibilités de location ou de vente du bâtiment; il faut donc le corriger. Les mesures à prendre dépendent de la cause de l'humidité; vient-elle des infiltrations ou des exfiltrations d'air? Bien que nous ayons traité du problème de l'efflorescence dans la section 12.5, deux autres observations peuvent être utiles.

Tout d'abord, pour prévenir les infiltrations d'humidité qui peuvent extraire les sels de la maçonnerie, on utilise couramment des traitements et des enduits superficiels. Mais avant de recourir à l'une de ces méthodes, on doit se rappeler qu'il faut évaluer soigneusement le comportement à long terme du traitement ou de l'enduit en cause. Si des matériaux inappropriés sont utilisés, l'apparence du placage de brique peut empirer avec le temps.

En second lieu, pour déterminer si les infiltrations ou les exfiltrations d'air sont la cause principale de l'humidité, il faut évaluer avec soin les détails de conception et la façon dont les travaux ont été exécutés. Le joint entre le système mural et les ouvertures est souvent le point faible de l'enveloppe du bâtiment, par où passe tout l'air qui entre ou qui sort. Comme nous l'avons vu dans les chapitres 8 et 10, il est difficile en pratique d'avoir un pare-air et un pare-vapeur parfaitement continus à ces endroits. Il arrive souvent, en outre, que les rainures où glissent les portes et les fenêtres coulissantes ne rejettent pas l'eau à l'extérieur, mais permettent à l'eau accumulée de s'échapper dans le mur en passant par de petites fissures, comme celles qui existent, par exemple, aux angles inférieurs des rainures.

DÉTÉRIORATION DU MORTIER

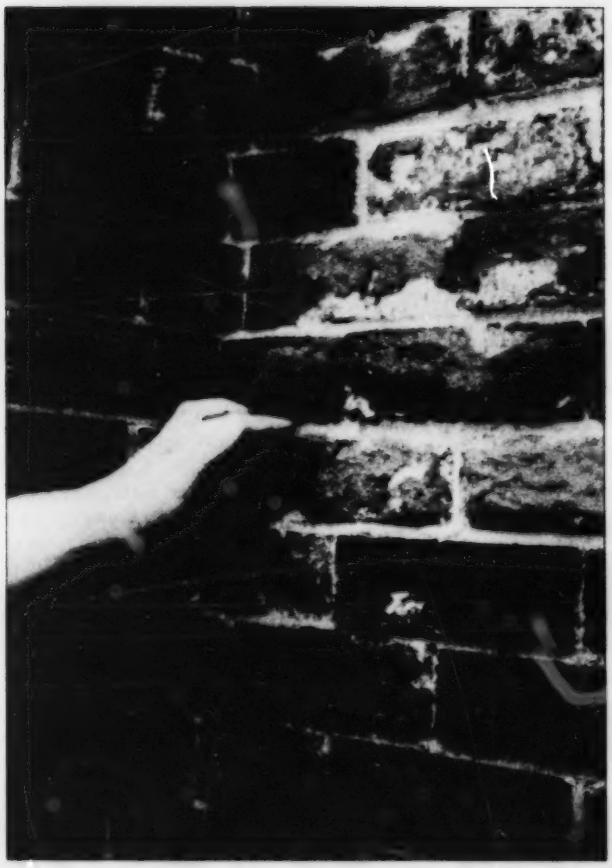
Bien que les excellents mortiers à base de ciment qui existent aujourd'hui résistent longtemps aux conditions environnementales, la détérioration du mortier peut, dans certaines conditions particulières, être un problème. La pire condition est celle de l'humidité accompagnée de cycles de gel/dégel.

Tout comme le comportement du béton soumis à des cycles de gel/dégel accompagnés d'humidité est meilleur s'il est à air occlus, le mortier qui est soumis à ces mêmes conditions extrêmes doit comporter un agent d'entraînement d'air dans sa composition. Les murs à placage ne sont généralement pas exposés à des conditions aussi sévères, mais le fait que le bâtiment soit situé dans une zone d'éclaboussement au bord d'une route, ou que le mur à placage descende jusqu'au niveau du sol, ou d'autres particularités de conception comme le fait que des gargouilles mal placées envoient l'eau sur le placage, peuvent être l'occasion de la détérioration du mortier en certains endroits du bâtiment.

Il existe deux autres causes de la détérioration du mortier : a) un mortier mal mélangé donne un mortier faible; et b) un mortier qui est incompatible avec le type d'élément de la maçonnerie entraîne des fissures entre le mortier et ces éléments. Un mortier faible ou fissuré peut se désintégrer rapidement, surtout dans les conditions d'érosion créées par de fortes quantités d'eau suivies de cycles de gel/dégel. On en trouvera un exemple dans la figure 15.6. Pour restaurer le mortier détérioré et fissuré, il est généralement nécessaire de rejointoyer les éléments de maçonnerie et d'améliorer certains détails du bâtiment, afin d'empêcher des quantités excessives d'eau d'atteindre le placage de brique.

DÉTÉRIORATION DE LA BRIQUE

Bien que la brique soit un matériau très durable, certaines briques d'argile sont susceptibles de se détériorer sous l'effet du gel/dégel, comme nous l'avons vu au chapitre 13. Étant donné que cette détérioration dépend du haut taux de saturation de la brique, les mesures de réparation doivent consister non seulement à remplacer les briques endommagées, mais aussi à améliorer certains détails de construction de façon à prévenir l'accumulation de quantités excessives d'humidité dans la brique.



▼ *Figure 15.6 Détérioration du mortier et de la brique due à l'action combinée de l'humidité et des cycles de gel/dégel*

MAUVAIS FONCTIONNEMENT DES CHANTEPLEURES

Pour que les systèmes muraux à placage remplissent bien leur rôle, l'humidité contenue dans la lame d'air doit être constamment éliminée par les chantepleures et les orifices de ventilation. Si les chantepleures sont bouchées ou si elles ont été tout simplement omises, l'humidité peut facilement entrer au niveau des dalles de plancher. En plus de se répandre sur le plancher près du mur extérieur, l'eau peut aussi endommager les tapis et les meubles, ainsi que les plaques de plâtre et les matériaux de finition intérieure. De plus, en saison froide, le gel de l'eau dans la lame d'air peut exercer des pressions horizontales sur le placage et provoquer son déplacement vers l'extérieur et sa fissuration.

Si ces problèmes d'infiltration durent longtemps, ils peuvent causer la corrosion de composants métalliques, tels que le rail inférieur sur lequel reposent les poteaux d'acier. Il arrive parfois que l'inspection du mur à placage révèle la présence d'importantes taches d'humidité sous les chantepleures. Ceci indique qu'une trop grande quantité d'humidité pénètre dans la lame d'air par infiltration ou exfiltration, ou par une combinaison des deux. Pour corriger le problème, il faut en déterminer l'origine, afin de prévenir la détérioration prématurée des composants du mur, comme les attaches, les poteaux, les vis, le revêtement intermédiaire et la cornière d'appui.

DÉTÉRIORATION DU PRODUIT DE CALFEUTRAGE

Même s'il est de première qualité et bien posé, un produit de calfeutrage installé sur un système mural PBr-MBé ou PBr-OA dure rarement plus de dix à 15 ans, dans les conditions climatiques du Canada. La détérioration du produit de calfeutrage se manifeste de diverses façons : il durcit en vieillissant; il se fissure ou se déchire; il se décolle des matériaux; il est rejeté hors du joint qui s'est fermé complètement sous l'effet de mouvements de dilatation occasionnels ou cycliques du mur. Pour réparer le calfeutrage, il faut enlever tout le produit détérioré et préparer les surfaces conformément aux instructions du fabricant. Il faut aussi suivre strictement ses instructions pour poser le nouveau produit de calfeutrage. Ces mesures de précaution permettent, si le produit utilisé est bon, évidemment, d'obtenir un nouveau joint d'une durée de vie raisonnable.

15.5 SIGNES DE DÉGRADATION GRAVE

Chaque fois que des signes de dégradation légère apparaissent sur l'extérieur ou l'intérieur d'un mur à placage, il est indispensable de chercher à savoir si d'autres défauts non apparents ne compromettraient pas le caractère sécuritaire du système mural. Ces défauts cachés peuvent vouloir dire qu'une dégradation apparemment légère est, en réalité, un problème grave susceptible de mettre la sécurité du public en danger.

Il n'est peut-être pas possible, ni utile d'ailleurs, de faire une distinction claire entre une dégradation légère et une dégradation grave lorsque des problèmes d'utilisation et d'apparence se manifestent. Cependant, si l'on tient compte des coûts et de l'importance des travaux de réparation, les problèmes d'efflorescence avancée et la détérioration de la brique sur de grandes surfaces peuvent certainement se classer parmi les cas de dégradation grave. Étant donné que nous avons traité des problèmes d'efflorescence et de détérioration de la brique plus haut, nous ne parlerons ici que des cas de dégradation grave qui mettent en cause la sécurité du public. Encore une fois, les cas mentionnés ici ne sont pas exhaustifs; ils ne font qu'illustrer certaines situations de dégradation typiques.

Le problème de revêtement extérieur le plus courant, et peut-être le plus dangereux, qui soit apparu au cours des 15 à 20 dernières années sur les bâtiments de grande hauteur a été causé par l'omission de joints de dilatation à la hauteur de la cornière d'appui. Cette omission a occasionné la dégradation grave du revêtement extérieur de nombre de bâtiments à structure d'acier et surtout de bâtiments à structure de béton armé; d'autant plus, dans ce dernier cas, que les mouvements différentiels sont plus grands à cause du fluage et du retrait de l'ossature. Quand de fortes charges sont transférées au placage par suite de son interaction avec l'ossature, la dégradation se manifeste typiquement par l'épaufrure de la brique à l'endroit de la cornière d'appui, ainsi que par des fissures verticales, le bombement et même, parfois, l'effondrement de panneaux entiers de placage de la hauteur d'un étage. Bien que ce problème de joint de dilatation ait été bien expliqué depuis quelques années et que la plupart des concepteurs et des entrepreneurs aient pris conscience de l'importance primordiale de ce joint, il est important de s'arrêter brièvement sur d'autres défauts sérieux qui ont souvent contribué à la dégradation du placage de brique.

Les principaux défauts détectés au cours de l'inspection du revêtement extérieur sont :

- cornière d'appui mal ancrée : boulons manquants, boulons mal serrés, trous de boulon percés au chalumeau et trop grands, rondelles trop petites, cales faites de matériaux inappropriés tels que du bois ou des morceaux de brique;
- manque de continuité de la cornière d'appui;
- nombre insuffisant d'attaches;
- corrosion des attaches et d'autres composants d'acier galvanisé, tels que le rail inférieur, les poteaux d'acier et les vis;
- fissuration du mur de fond en MBé à cause de l'absence de joint de dilatation à son sommet;
- bombement du mur de fond à OA à cause de l'absence de joint de dilatation à son sommet ou à sa base;
- installation défectueuse du solin, et même, éléments de solin endommagés ou ne se recouvrant pas;
- présence de nombreuses bavures de mortier traversant le vide mural ou s'accumulant au fond de la lame d'air;
- chantepleures bouchées;
- surface d'appui insuffisante de la brique sur la cornière, parce qu'elle surplombe trop la cornière;
- matériaux isolants mouillés, ou mal joints;
- plaques de plâtre ramollies par l'humidité; et
- importants manques de continuité dans le pare-air et le pare-vapeur.

Dans cette liste de défauts, il faut se rappeler que certains défauts sont survenus au cours de la construction, mais que d'autres sont le résultat de la dégradation progressive du revêtement extérieur. Étant donné qu'un si grand nombre de défauts graves peuvent être cachés aux yeux de l'inspecteur quand il commence son travail, il est primordial que toute inspection soit assez poussée pour pouvoir mesurer toute l'étendue, non seulement de la dégradation, mais aussi du risque de voir celle-ci entraîner éventuellement des situations dangereuses ou des réparations coûteuses.

15.6 COMPORTEMENT DES DIVERS TYPES DE REVÊTEMENT EXTÉRIEUR

En dehors du placage de brique des systèmes muraux PBr-MBé et PBr-OA, on utilise aujourd'hui d'autres matériaux de revêtement extérieur au Canada, tels que les éléments de béton préfabriqués, la pierre, l'acier et l'aluminium. Mention est faite ici de l'éventail des systèmes de revêtement extérieur, parce que les explications données dans les deux dernières sections peuvent avoir laissé l'impression que les systèmes muraux PBr-MBé et PBr-OA sont plus sujets aux défaillances de comportement. Ce serait là une impression fausse. À notre avis, ces deux systèmes muraux ont eu un comportement satisfaisant et c'est, de fait, ce comportement satisfaisant, à des coûts économiques, qui les rend encore très populaires auprès des entrepreneurs.

On peut citer des cas de dégradation légère ou grave pour tous les types de revêtement extérieur, soit ceux étudiés dans le présent document, soit d'autres. Les conditions environnementales qui agissent sur les revêtements extérieurs diffèrent d'une région à l'autre du Canada; mais on peut dire, en gros, que ces conditions sont presque toutes relativement dures. Pour obtenir un rendement satisfaisant des systèmes muraux PBr-MBé et PBr-OA à long terme, il est important de s'occuper de tous les aspects du choix des matériaux, de la conception, de la construction, de l'inspection et de l'entretien du bâtiment, sans jamais oublier les dures conditions environnementales du Canada.

BIBLIOGRAPHIE

Alberta Building Envelope Council, *Building Envelope Failures: Causes and Remedial Measures*, Seminar No. 1 - Walls, ABEC, Calgary, mars 1985.

Arumala, J. O. et R. H. Brown, *Performance Evaluation of Brick Veneer with Steel Stud Backup*, Dept. of Civil Engineering, Clemson University, Clemson S.C., 23 avril 1982.

ASHRAE Handbook of Fundamentals, The American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc., New York, 1985.

Ashton, H. E., *Coatings for Masonry Surfaces*, Digeste de la construction au Canada n° 131, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches, Ottawa, novembre 1970.

Ashton, H. E., *Evaluating the Performance of Organic Coatings and Building Materials*, ASTM Special Technical Publication 781, 1983, pp. 67-85.

Association canadienne de normalisation, CAN/CSA-A82.1-M87, *Burned Clay Brick (Solid Masonry Units Made from Clay or Shale)*, ACNOR, Rexdale, 1987, 17 pages.

Association canadienne de normalisation, CAN3-A82.2-M1984, *Méthodes d'échantillonnage et d'essai de la brique*, ACNOR, Rexdale, 1984.

Association canadienne de normalisation, CAN3-A370-M84, *Éléments de liaison de la maçonnerie*, ACNOR, Rexdale, 1984.

Association canadienne de normalisation, CAN3-A371-M84, *Mise en œuvre de la maçonnerie pour les bâtiments*, ACNOR, Rexdale, 1984, 50 pages.

Association canadienne de normalisation, CAN3-S136-M84, *Éléments porteurs en acier formés à froid*, ACNOR, Rexdale, 1984, 86 pages.

Association canadienne de normalisation, CAN3-S304-M84, *Calcul de la maçonnerie pour les bâtiments*, ACNOR, Rexdale, 1984, 69 pages.

Association canadienne de normalisation, CAN3-Série A165-M85, Série-M85, *Normes ACNOR sur les éléments de maçonnerie en béton*, ACNOR, Rexdale, 1985, 51 pages.

Association canadienne de normalisation, Commentary on CSA *Standard CAN3-S136-M84*, Publication spéciale de l'ACNOR S136-1- M86, ACNOR, Rexdale, 1986.

Association canadienne de normalisation, CSA Standard A179 - *Mortar and Grout for Unit Masonry*, ACNOR, Rexdale, 1976.

Brand, R., *Architectural Details for Insulated Buildings*, Carleton University, Ottawa.

Brick Institute of America, *Brick Veneer Existing Construction* BIA Technical Notes on Brick Construction No. 28A, février 1987.

Brick Institute of America, *Brick Veneer New Construction* BIA Technical Notes on Brick Construction, 28 juillet 1986.

Brick Institute of America, *Brick Veneer Steel Stud Wall Panels*, BIA Technical Notes on Brick Construction No. 28B, février 1987.

Brick Institute of America, *Differential Movements*, Technical Notes on Brick Construction No. 18, 1984.

Brick Institute of America, *Efflorescence, Causes and Mechanisms*, Technical Notes on Brick Construction No. 23, mai 1985.

Brick Institute of America, *Efflorescence, Prevention and Control*, Technical Notes on Brick Construction No. 23A, juin 1985.

Brick Institute of America, *Wall Ties For Brick Masonry*, BIA Technical Notes on Brick Construction No. 44B, mars 1987.

Brick Institute of America, *Water Resistance of Brick Masonry - Construction and Workmanship*, Technical Notes on Brick Construction 7B, janvier 1985.

British Standards Institution, *BS 1243: 1978, Metal Ties for Cavity Wall Construction* British Standard, Londres, BSI, 1978.

Brooks, M. S., *Masonry Veneer With Steel Stud Backup*, M. Eng. Project Report, McMaster University, Hamilton, Ontario, avril 1985, 112 pages.

Brown, R. H. et J. A. Murden, *Effect of Lateral Load Cycling on Composite Action Between Gypsum Sheathing and Metal Studs*, Fourth Canadian Masonry Symposium, Fredericton, N.-B., juin 1986, pp. 744-758.

Clear, C. A., *The Effects of Autogenous Healing upon the Leakage of Water through Cracks in Concrete*, Cement and Concrete Association, Technical Report 559, Wexham Springs, Slough, mai 1985, 31 pages.

Conseil national de recherches, *Code national du bâtiment du Canada 1985*, Comité associé du Code national du bâtiment, Ottawa, 1985.

Conseil national de recherches, *Normes de construction résidentielle*, Comité associé du national du bâtiment, Ottawa, 1985.

Crooks, R. W., C. E. Kilgour et D. N. Winslow, *Pore Structure and Durability of Bricks*, Proceedings of Fourth Canadian Masonry Symposium, University of New Brunswick, juin 1986.

Davison, J. I., *La pénétration de la pluie et les détails de conception des murs de maçonnerie*, Note d'information de recherche sur le bâtiment n° 13, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches du Canada, mars 1980.

Davison, J. I., *La pénétration de la pluie et les systèmes de mur de maçonnerie*, Note d'information de recherche sur le bâtiment n° 12, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches du Canada, janvier 1980.

Davison, J. I., *Qualité d'exécution et pénétration de la pluie dans les murs de maçonnerie*, Note d'information de recherche sur le bâtiment n° 16, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches du Canada, février 1981.

de Vekey, R. C., *Corrosion of Steel Wall Ties: Recognition, Assessment and Appropriate Action*, Building Research Establishment Information Paper IP28/79, Garston, BRE, 1979.

de Vekey, R. C., *Performance Specifications for Wall Ties*, Building Research Establishment Information Paper IP4/84, Garston BRE, 1984.

Drysdale, R. G. D. et N. Breton, *A Report on Strength and Stiffness Characteristics of Steel Stud Backup Walls Designed to Support Brick Veneer*, présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, Ontario, mars 1989.

Drysdale, R. G. et M. J. Wilson, *A Report on Behaviour of Brick Veneer/Steel Stud Tie Systems*, présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, Ontario, mars 1989.

Drysdale, R. G. et M. J. Wilson, *A Report on Lateral Load and Rain Penetration Tests of Full Scale Brick Veneer/Steel Stud Walls*, présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, Ontario, juillet 1990.

Drysdale, R. G., A. Kluge et G. T. Suter, *Brick Veneer/Steel Stud Wall Systems - Physical Tests*, Proceedings of Fourth Conference on Building Science and Technology, Toronto, février 1988, pp. 201-219.

Drysdale, R. G., A. Kluge et P. Roscoe, *A Report on Water Leakage Characteristics of Bricks and Brick Assemblages*, présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, Ontario, mars 1989.

Drysdale, R. G. et A. Kluge, *A Report on Performance of Brick Veneer/Steel Stud Wall Systems Subject to Temperature, Air Pressure, and Vapour Pressure Differentials*, présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, Ontario, juin 1990.

Drysdale, R. G. et E. A. Gazzola, Influence *of Mortar Properties on the Tensile Bond Strength of Brick Masonry*, Proceedings of 7th International Brick Masonry Conference, Melbourne Australia, 1985.

Drysdale, R. G. et S. Chidiac, *Defining Better Wall Systems*, Rapport présenté à la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, Ottawa, Ontario, mai 1989.

Duncan, R. L., Brick Veneer/Steel *Stud Wall Systems: An Overview*, Proceedings of Fourth Conference on Building Science and Technology, Toronto, Ontario, 1988.

Eppel, F. J., *A Report on a Cross Canada Survey of Rain Penetration Risk in Masonry Buildings*, Proceedings of Third Canadian Masonry Symposium, Edmonton, juin 1983, pp. 31-1 - 31.15.

Experimental Building Station, *Differential Movements in Buildings Clad with Clay Bricks, 2 - The Design of Expansion Gaps*, Notes on the Science of Building, Department of Housing and Construction NSB 85, Australie, 1975.

Ganguli, U. et R. L. Quirouette, *Pressure Equalization Performance of a Metal and Glass Curtain Wall*, CNRC, mai 1987.

Ganguli, U. et W. A. Dagliesh, *Wind Pressures on Open Rain Screen Walls: Place Air Canada*, CNRC, mars 1988.

Garden, G. K., Emploi des matériaux *de calfeutrement*, Digeste de la construction au Canada n° 96, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, novembre 1969.

Grimm, C. T., «Brick Veneer: A Second Opinion,» *The Construction Specifier*, Alexandria, Vt., avril 1984.

Grimm, C. T., «Metal Ties and Anchors for Brick Walls,» *Journal of The Structural Division*, ASCE, vol. 102, n° ST4, avril 1976.

Grimm, C. T., «Water Permeance of Masonry Walls: A Review of the Literature,» *Masonry: Materials Properties and Performance*, ASTM STP778, 1982, pp. 178-199.

Grimm, Clayford T., «Design for Differential Movement in Brick Walls,» *Journal of the Structural Division*, American Society of Civil Engineers, novembre 1975, pp. 2385-403.

Hall, J. S. et G. T. Suter, *How Safe are Our Masonry Cladding Connections?*, Proceedings of First Canadian Masonry Symposium, University of Calgary, juin 1976.

Handegord, G. O., *Air Leakage, Ventilation and Moisture Control in Buildings*, Document de la DRB n° 1063, CNRC, 1982.

Hatzinikolas, M. A., R. Lee et J. Warwaruk, *Factors Affecting the Performance of Metal Stud Masonry Veneer Wall Systems*, Proceedings of Fourth Conference on Building Science and Technology, Toronto, Ontario, 1988.

Hatzinikolas, M. A., R. Lee, J. Longworth et J. Warwaruk, *The Behaviour of Styrofoam SM Insulation As Exterior Sheathing In Brick Veneer And Metal Stud Wall System*, Department of Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alberta, 1986.

Heidersbach, R. et J. Lloyd, *Corrosion of Metals in Concrete and Masonry Buildings*, Paper 258, Corrosion/85, NACE, Houston, mars 1985.

Hutcheon, N. B. et G. O. P. Handegord, *Building Science For a Cold Climate*, John Wiley & Sons, Toronto, 1983, 440 pages.

Institut canadien de la tôle d'acier pour le bâtiment, *Lightweight Steel Framing Manual*, ICTAB 50M-1987, août 1987, 23 pages.

J. W. Cowie Engineering Limited, *Investigation of Exterior Walls, Windows and Roof Alderney Manor, Alderney Drive, Dartmouth, Nova Scotia*, Rapport pour la Société canadienne d'hypothèques et de logement, Bureau de Halifax, 1976.

Keller, H., *Brick Veneer/Steel Stud Wall Design and Construction Practices in Canada*, Results of a 1986 Survey, préparé par Suter Keller Inc. pour la Division de la mise en œuvre des projets, SCHL, 1986, 98 pages.

Kluge, A. et R. G. Drysdale, *Environmental Performance of Brick Veneer Curtain Walls - Background and Description of a Test Apparatus*, Fourth North American Masonry Conference, Los Angeles, 1987.

Kumar, S. et R. Heidersbach, *Corrosion of Steel Stud Masonry Buildings*, Proceedings of Fourth Canadian Masonry Symposium, University of New Brunswick, Fredericton, N.-B., pp. 826-839.

Kung, J. H., *Frost Durability of Clay Bricks - Evaluation Criteria and Quality Control*, Proceedings No. 8, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches du Canada, CNRC 23294, avril 1984.

Latta, J. K., *Murs, fenêtres et toitures pour le climat canadien, résumé des principes courants pour le choix et la conception*, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches du Canada, Publication spéciale n° 1, Ottawa, 1973, CNRC 13487.

Litvan, G. G., *Testing the Frost Susceptibility of Bricks*, Research Paper No. 645, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches du Canada, CNRC 14797, 1975.

Masonry Council of Canada, *Guide to Energy Efficiency in Masonry and Concrete Buildings*, 1982, 144 pages.

McGinley, W. M., J. Warwaruk, J. Longworth et M. A. Hatzinikolas, *The Interaction of Brick Veneer and Steel Studs in Curtain Wall Construction* Structural Engineering Report 127, Department of Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alberta, 1985.

Moore, J. F. A., *The Performance of Cavity Wall Ties*, Building Research Establishment, Current Paper CP3/81, Garston, BRE, 1981.

Palmer, L. A. et D. A. Parsons, *Permeability Tests of 8-in Brick Wallettes*, Proceedings, American Society for Testing Materials, Vol. 34, Part II, 1934, pp. 419-431.

Plewes, W. G., *Construction des murs extérieurs des bâtiments de grande hauteur. Conseils et recommandations : murs creux et placages de maçonnerie dans les bâtiments à ossature*, Document d'orientation, Société canadienne d'hypothèques et de logement, 1981, 73 pages.

Plewes, W. G., *Failure of Brick Facings on High-Rise Buildings*, Digeste de la construction au Canada n° 185, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches, Ottawa, 1976.

Portland Cement Association, *Water Permeance of Construction* Technology Laboratories, Skokie, Illinois, U.S.A.

Quirouette R. L., «The Air Barrier: A Misunderstood Element,» *Construction Canada*, novembre 1986.

Quirouette, R. L., *La différence entre un pare-vapeur et un pare-air*, Note d'information de recherche sur le bâtiment n° 54, DRB/CNRC, juillet 1985.

Quirouette, R. L., «Moisture Sources in Houses,» *Building Science Insight '83*, DRB/CNRC, mai 1984.

Randall, Frank A. et William C. Panarese, *Concrete Masonry Handbook for Architects, Engineers, Builders*, Portland Cement Association, Skokie, 1976.

Ritchie, T., *Efflorescence*, Digeste de la construction au Canada n° 2, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches, Ottawa, février 1960.

Ritchie, T., *Pénétration de la pluie dans les murs en maçonnerie composite*, Digeste de la construction au Canada n° 6, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches, Ottawa, juin 1980.

Robinson, G. C., «The Relationship Between Pore Structure and Durability of Brick,» *Ceramic Bulletin*, vol. 63, n° 2, 1984, pp. 295-300.

Rousseau, J., «Rain Penetration and Moisture Damage in Residential Construction,» *Building Science Insight '83*, DRB/CNRC, mai 1984.

Rousseau, M. Z., «Control of Surface Concealed Condensation,» *Building Science Insight '83*, DRB/CNRC, mai 1984.

Sasaki, J. R., *Thermal Performance of Exterior Steel-Stud Frame Walls*, Publication du CNRC n° 2226, DRB, 1972.

Scheuneman, E. C., *Détermination des gradients de température et des températures de rosée dans l'enveloppe des bâtiments*, Note d'information de recherche sur le bâtiment n° 26, DRB/CNRC, mars 1982.

Schild, Erich, Oswald, Rainer, Rogier, Dietmar et Schweikert Hans, *Structural Failure in Residential Buildings, Vol. 2, External Walls, and Openings*, Granada Publishing, Toronto, 1979.

Shaw, C. Y., *Essais de transparence à l'air des membranes de polyéthylène posées sur un mur à ossature de bois*, Mémoire technique n° 225, DRB/CNRC, Ottawa, janvier 1985, 25 pages.

Société canadienne d'hypothèques et de logement, *Les problèmes d'humidité*, Série Constructeurs, LNH 6011, septembre 1988, 38 pages.

Standards Association of Australia, *AS 2699-1984: Wall Ties For Masonry Construction* North Sydney, N. S. W., 1984.

Suter, G. T. et H. Keller, *The Masonry Veneer Soft Joint Issue in a Historical Context*, Proceedings of Fourth Canadian Masonry Symposium, University of New Brunswick, juin 1986.

Suter, G. T., R. G. Drysdale et H. Keller, *Brick Veneer/Steel Stud Wall Systems - Design and Construction Considerations*, Proceedings of Fourth Conference on Building Science and Technology, Toronto, février 1988, pp. 179-200.

University of Waterloo Course Notes, *Design in Cold Formed Steel*, Edited by R. M. Schuster, University of Waterloo, octobre 1986.

Verhoeven, A. C. et T. H. J. Liem, «Thermal Bridge Calculations for Anti-Condensation Standards,» *Building Research and Practice*, vol. 6, n° 4, 1978, pp. 224-235.

Water Penetration Study Committee, *Recommended Details and General Information to Overcome Water Penetration and Vapour Movement in Exterior Masonry Wall Systems*, Borough of Scarborough.

Wilson, A. G. et G. K. Garden, *Moisture Accumulation in Walls Due to Air Leakage*, Document technique n° 227, DRB/CNRC, 1965.

Wilson, A. G. et G. T. Tamura, *Stack Effects in Buildings*, Digeste de la construction au Canada n° 104, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches, Ottawa, 1968.

Winter, G. et R. H. Pian, «Crushing Strength of Thin Steel Webs,» *Engineering Experiment Station Bulletin No. 35, Part 1*, Cornell University, Ithaca, New York, avril 1946.

Winter, G., W. Lansing et R. B. McCalley, *Performance of Laterally Loaded Channel Beams*, Symposium on Engineering Structures (Colston Papers, Vol. 2), Butterworths Scientific Publications, Londres, 1949.

Yu, W. W., *Cold-Formed Steel Design*, John Wiley and Sons, juin 1985.

Zakrzewski, A. S., *Masonry Veneer in Highrise Buildings*, Rapport présenté à la Société canadienne d'hypothèques et de logement par Proen Consultants, Willowdale, Ontario, 1987.